

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

BRENDA MARÇAL NEVES LIMA

**COMPARATIVO DO CENÁRIO CLIMATOLÓGICO E DO CONFORTO TÉRMICO  
DAS CAPITAIS LITORÂNEAS DO NORDESTE BRASILEIRO**

Maceió, AL

2023

BRENDA MARÇAL NEVES LIMA

**COMPARATIVO DO CENÁRIO CLIMATOLÓGICO E DO CONFORTO TÉRMICO  
DAS CAPITALS LITORÂNEAS DO NORDESTE BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação de Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em Meteorologia.

Orientador: Profa.Dra.Rafaela Lisboa Costa

Maceió, AL

2023

**Catálogo na Fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

L732c Lima, Brenda Marçal Neves.  
Comparativo do cenário climatológico e do conforto térmico das capitais litorâneas do nordeste brasileiro / Brenda Marçal Neves Lima. – 2023.  
58 f. : il.

Orientadora: Rafaela Lisboa Costa.  
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2023.

Bibliografia: f. 55-58.

1. Litoral. 2. Mudanças climáticas. 3. Temperatura. 4. Capitais (Cidades). 5. Brasil, Nordeste. I. Título.

CDU: 551.58(812/813)

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas que foram fundamentais para a conclusão bem-sucedida do meu curso de Meteorologia. Em momentos desafiadores, pude contar com o apoio incondicional do meu esposo, Alessandro Guimarães Lima. Sua compreensão, paciência e encorajamento foram essenciais para superar os obstáculos acadêmicos.

À minha família, especialmente à minha avó, Geraldina Inácia Neves, que fez uma jornada significativa de Minas Gerais para Alagoas, proporcionando-me a oportunidade de estudar Meteorologia. Aos meus pais, José Inácio Neves e Margaret Pessoa Marçal Neves, e ao meu irmão, Arthur Abner Marçal Neves, agradeço por também terem feito essa mudança, tornando possível a realização do meu curso.

À Profa. Dra. Rafaela Lisboa Costa, minha orientadora, expresso minha sincera gratidão. Sua disponibilidade, apoio e paciência foram fundamentais para o desenvolvimento da minha pesquisa e conclusão deste trabalho. Agradeço por ser uma mentora dedicada e inspiradora.

Por fim, estendo meus agradecimentos a todos os professores do curso de graduação em Meteorologia na Universidade Federal de Alagoas. A dedicação de vocês ao ensino e o comprometimento com o meu aprendizado foram essenciais para a formação que recebi. Cada um contribuiu significativamente para o meu crescimento acadêmico e profissional.

Este trabalho é fruto não apenas do meu esforço, mas também do apoio valioso dessas pessoas. A todos vocês, meu mais sincero obrigado.

## RESUMO

Essa pesquisa abordou, o conforto térmico nas capitais da Região Nordeste do Brasil (RNB), que estão próximas ao litoral, ao longo do período de 1961 a 2020. O estudo concentrou-se na análise dos índices de calor (IC) e desconforto térmico humano (IDK), visando compreender as dinâmicas climáticas e seus efeitos na sensação térmica da população. Dentre as variáveis meteorológicas consideradas, as temperaturas máximas revelaram aumentos significativos, evidenciando mudanças climáticas regionais na RNB. Ao observar os índices de calor, destacou-se a preocupante incidência de valores extremos em São Luís e Fortaleza. A análise comparativa entre os períodos de 1961-1990 e 1991-2020 apontou um aumento constante nas temperaturas máximas na maioria das capitais. Além disso, observou-se um significativo aumento nas temperaturas mínimas ao longo de todo o ano nas cidades de São Luís e Maceió, enquanto em Natal e Recife esse aumento foi notável nos meses próximos às estações de primavera/verão do hemisfério Sul. No que tange ao desconforto térmico humano, a pesquisa identificou uma tendência de crescimento nos valores, especialmente nas décadas mais recentes. Isso sugere uma piora nas condições de conforto térmico para a população, exigindo atenção quanto às políticas de adaptação e mitigação.

**Palavras-chave:** Litoral; Mudanças Climáticas; Temperatura; Capitais; Nordeste do Brasil.

## **ABSTRACT**

This research comprehensively addressed thermal comfort in the capitals of the Northeast Region of Brazil (RNB), which are close to the coast, over the period from 1961 to 2020. The study focused on the analysis of heat indices (IC) and human thermal discomfort (IDK), aiming to understand climate dynamics and their effects on the population's thermal sensation. Among the meteorological variables considered, maximum temperatures revealed significant increases, highlighting regional climate changes in RNB. When observing the heat indices, the worrying incidence of extreme values in São Luis and Fortaleza stood out, signaling considerable risks to public health, such as heatstroke and strokes. The comparative analysis between the periods of 1961-1990 and 1991-2020 indicated a consistent rise in maximum temperatures in most capitals. Furthermore, a notable increase in minimum temperatures throughout the year was observed in the cities of São Luís and Maceió, while in Natal and Recife, this increase was significant in the months near the Southern Hemisphere's spring/summer seasons. Regarding human thermal discomfort, the research identified a growing trend in values, especially in recent decades. This suggests a worsening of thermal comfort conditions for the population, requiring attention to adaptation and mitigation policies.

**Keywords:** Coastal; Climate Change; Temperature; Capitals; Northeast Brazil

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Perfil da variação da temperatura nas Ilhas de Calor Urbanas.....	15
Figura 2	– Representação esquemática do fenômeno de brisa marítima e terrestre.....	18
Figura 3	– Mapa das sub-regiões nordestinas.....	
Figura 4	– Distribuição das áreas urbanas do Brasil.....	19
Figura 5	– Gráfico de número de prédios construídos/ano em São Luís.....	21
Figura 6	– Imagem da década de 50/60 (a) e imagem de 2013 (b) panorâmico da Praça Fausto Cardoso, localizada em Aracaju – SE.....	21
Figura 7	– Imagem da década de 70 (c) e imagem de 2010 (d) panorâmico do Estádio Estadual Lourival Baptista, localizada em Aracaju – SE.....	22
Figura 8	– Imagem da década de 70 (c) e imagem de 2010 (d) panorâmico do Estádio Estadual Lourival Baptista, localizada em Aracaju – SE.....	24
Figura 9	– Imagem da década de 70 (c) e imagem de 2010 (d) panorâmico do Estádio Estadual Lourival Baptista, localizada em Aracaju – SE.....	24
Figura 10	– Avaliação espacial do uso e ocupação do solo na cidade de Maceió via NDVI, durante os anos de 1987, 1998, 2006 e 2020.....	25
Figura 11	– Avaliação temporal TST em (°C) na cidade de Maceió via NDVI, durante os anos de 1987, 1998, 2006 e 2020.....	26
Figura 12	– Zonas de Temperatura da cidade de Recife/PE, 2013.....	27
Figura 13	– Probabilidade de distúrbios de calor com exposição prolongada ou atividade extenuante.....	32
Figura 14	– Variação de temperatura máxima anual das capitais do RNB, de 1961 a 1990 (em azul) e 1991 a 2020 (em vermelho) .....	34
Figura 15	– Variação de temperatura mínima anual das capitais do RNB, de 1961 a 1990 (em azul) e 1991 a 2020 (em laranja) .....	37
Figura 16	– IC da temperatura máxima, nas capitais do RNB, no período de 1961 –2020.	
Figura 17	– Índice de Desconforto de Kawamura na temperatura máxima, no período de 1961 a 2020.....	41
Figura 18	– Índice de Desconforto de Kawamura (IDK) na temperatura mínima, no período de 1961 a 2020.....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Lista dos 20 municípios brasileiros com mais 200 mil habitantes, com a maiores taxas de densidade demográficas urbanas.....	20
Tabela 2	- Classificação do IDK.....	30
Tabela 3	- Alerta para o Índice de Calor (IC).....	32

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

TX	Temperatura Máxima
TN	Temperatura Mínima
TD	Temperatura de ponto de Orvalho
UR	Umidade Relativa do ar
RNB	Região Nordeste Brasileira
IC	Índice de Calor
AVC	Acidente Vascular Cerebral
IDK	Índice de Desconforto Kawamura
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
TST	Temperatura da Superfície Terrestre
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
°C	Graus Celsius

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>16</b>
2.1 Estudos do clima urbano das cidades do Nordeste brasileiro.....	16
2.2. Ilha de Calor Urbana e seus efeitos .....	17
2.3. Conforto Térmico Humano .....	19
2.4. Influência das brisas marítimas e terrestres .....	21
<b>3. MATERIAL E METODOLOGIA .....</b>	<b>22</b>
3.1. Área de estudo .....	22
3.2. Dados .....	32
3.3. Índice de desconforto humano (IDK).....	32
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>35</b>
4.1. Índice de calor (IC).....	42
4.2. Índice de desconforto humano (IDK).....	46
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Esse processo acelerado de urbanização tem desencadeado uma série de impactos significativos, especialmente devido à falta de planejamento em diversos centros urbanos. A substituição das áreas verdes por infraestruturas físicas tem sido uma característica marcante desse fenômeno, resultando em mudanças profundas no ambiente urbano. As consequências dessas transformações têm despertado crescente preocupação, sendo objeto de estudos e pesquisas que buscam compreender os impactos ambientais, sociais e, especialmente, na saúde humana.

Segundo Moore et al. (2003), quase a metade da população mundial vive agora em aglomerados urbanos. Esse avanço no processo de urbanização nos grandes centros, muitas vezes são feitos sem planejamento algum, e tem colaborado para substituir as áreas verdes das cidades por áreas físicas construídas nessas localidades. As consequências dessas mudanças na saúde humana, tem sido o motivo para vários estudos e pesquisas na área de urbanização e seus impactos ambientais e sociais (Azevedo et al., 2015; Mendonça et al., 2021).

Zhao et al. (2018) analisaram informações relativas às condições climáticas e aos registros hospitalares em um estudo que abrangeu 1814 municípios brasileiros no período de 2000 a 2015, representando cerca de 78% da população nacional. Os resultados revelaram que as variações de temperatura têm um impacto significativo, contribuindo com cerca de 4% de todas as internações no Brasil. As taxas mais elevadas de internação ocorrem em crianças menores de 5 anos, seguidas dos idosos e, por último, das pessoas entre 10 e 49 anos de idade.

Em condições de estresse térmico, nosso corpo responde de diversas maneiras, como alterações no metabolismo, expansão ou contração de vasos sanguíneos, variações na frequência cardíaca, transpiração, tremores e eriçamento dos pelos, entre outras reações. A termorregulação, ou seja, a regulação da temperatura corpórea, é uma resposta automática do nosso organismo aos estímulos do ambiente. No entanto, é relevante destacar que essa resposta fisiológica demanda um esforço adicional do corpo, o que pode resultar em uma diminuição da nossa capacidade de desempenho.

Vários estudos feitos na Região Nordeste do Brasil (RNB) dos anos de 1981 a 2021, apontam que a RNB apresenta tendência de aumento positivo nos índices de extremos climáticos, de temperatura máxima e mínima, na maioria das cidades e capitais analisadas. Autores como Nóbrega et al. (2015) notaram também, mudanças nos padrões pluviométricos, e essas mudanças podem variar de acordo com a região, e a causa pode ser por fatores naturais

ou antropogênicos.

Estas alterações na temperatura podem colocar a saúde humana em risco. É fundamental conduzir pesquisas sólidas relacionadas ao conforto térmico e à saúde nas áreas urbanas. Essas pesquisas desempenham um papel fundamental no aprimoramento do planejamento e na concepção de espaços públicos, ao mesmo tempo que contribuem para a diminuição do consumo de energia. Além disso, esse conhecimento pode servir como um recurso valioso para orientar futuras administrações, na formulação de políticas de saúde pública que estejam alinhadas com o contexto das mudanças climáticas (Moore et al., 2003).

Assim, esse trabalho teve como objetivo principal avaliar o comportamento do conforto e desconforto térmico para todas as capitais da RNB, que se encontram na região litorânea, no período de 1961 a 2020, através do índice de desconforto humano (IDK), proposto por Ono e Kawamura (1991), sendo esse o índice mais utilizado em regiões tropicais, juntamente com o índice de calor (IC) que foi desenvolvido por Robert G. Steadman em 1970. Esse índice é uma medida que combina a temperatura do ar com a umidade relativa para determinar como a temperatura é percebida pelo corpo humano. O índice de calor é muitas vezes usado para avaliar o risco de estresse térmico e pode ajudar a prever o impacto do clima quente e úmido, que caracteriza as capitais do RNB, na saúde e no bem-estar das pessoas, (Steadman 1970).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Estudos do clima urbano das cidades do Nordeste brasileiro

O primeiro estudo na RNB, teve o objetivo de analisar o campo térmico na cidade de Salvador/BA, correlacionando o uso do solo e ilha de calor no ambiente urbano, realizado por Sampaio (1981).

Para Fortaleza (CE), Santana (1997) analisou o campo térmico da cidade. O progresso dos estudos relacionados ao clima urbano no Nordeste, se solidificou após os anos 2000, com a produção de diversos trabalhos a nível de graduação.

Todas as capitais da região Nordeste do Brasil, tiveram uma quantidade significativa de estudos voltados para o clima urbano. As capitais que possuem maior número de pesquisas levando em consideração os trabalhos técnicos, de dissertação e teses, foram: Natal/RN, Fortaleza/CE, Salvador/BA, e a que possui um número menor de trabalho é Teresina/PI (De Oliveira Moura et al., 2008).

O trabalho realizado por Torres et al. (2006) em Maceió/AL sobre o conforto ambiental de espaços públicos urbanos em conjuntos habitacionais, no período de dez/2003 e jan/2004, realizaram medições de temperatura e umidade relativa em 3 praças, nos horários de 9,15 e 21h. Foi observado nesse período uma diferença térmica de 1,4°C em relação a setores menos arborizados das praças.

Barbosa et al. (2005), realizou um estudo voltado para o microclima da cidade de Maceió/AL, em áreas verdes e qualidade térmica em ambientes urbanos, no bairro da Jatiúca. Em três episódios no mês de julho de 2005, com registros simultâneos de 9h,15h e 21h, as maiores diferenças térmicas ocorreram pela manhã (9h) com valores de até 3,3°C entre os pontos. A noite (21h) as diferenças não ultrapassaram 1,2°C.

Nedel et al. (2005) utilizou análise comparativa de dois índices de conforto térmico humano no estado de Pernambuco, por meio da série meteorológica do ano 2000, nas cidades de Recife, Vitória de Santo Antão, Caruaru, Serra Talhada e Petrolina. Os índices de conforto exibiram sensação de desconforto em relação ao calor durante todo o ano no período da tarde, com extremos nas tardes de verão, para todas as cidades, com exceção de Caruaru para o inverno.

A análise feita por Moreira et al. (2007) do clima urbano da cidade de Recife/PE, foi voltada para dois bairros da cidade, o bairro de Santo Amaro (centro da cidade) e o bairro

Curado (zona mista, rural e urbana). Os experimentos foram feitos nos dias 04, 05 e 06 do mês de outubro de 2006, em 3 horários de registros 9h, 15h e 21h. Os resultados encontrados mostraram diferenças térmicas: 4,5°C (9h); 4,8°C (15h) e 2,9°C (21h) do bairro Curado (zona mista, rural e urbana) para o bairro mais urbanizado Santo Amaro.

O trabalho de Nóbrega et al. (2015) foram analisados os dados de precipitação pluviométrica diária relativos ao período de 1978 a 2010. Os resultados mostraram a predominância de tendência de aumento no volume de chuva anual, com exceção da mesorregião da Região Metropolitana do Recife e parte leste da mesorregião da zona da mata, que apresentaram tendência negativa. O sertão de Pernambuco, representado pelas mesorregiões do Sertão Pernambucano e do São Francisco, apresentou os maiores números de episódios extremamente secos, embora a ocorrência de extremos chuvosos na região nos meses dezembro, janeiro e fevereiro, apresenta um aumento significativo. Dessa forma é possível afirmar que vem ocorrendo mudanças nos padrões pluviométricos para o Estado de Pernambuco, porém não se pode afirmar que estas mudanças decorrem de fatores naturais ou fatores antrópicos.

Segundo Da Silva et al. (2019) a RNB apresenta as maiores reduções para os índices de precipitação e o maior aumento para a temperatura e dias e noites quentes. Ao analisar os 21 índices selecionados para a região amazônica e a RNB, foi possível observar que a mesorregião com os maiores indícios de mudanças climáticas trata-se do Sertão Sergipano com ocorrência 20 índices significativos, seguido do Sul de Roraima com 16 índices, Norte de Roraima, Agreste Sergipano, Centro Maranhense, Vale do Juruá e Leste Alagoano com 15 índices. Os fatores como desmatamento, mau uso do solo, entre outros fatores, pode estar atenuando a mudança no clima dessas regiões.

## **2.2. Ilha de Calor Urbana e seus efeitos**

A ventilação e a radiação solar desempenham papéis essenciais no que diz respeito ao conforto térmico em uma cidade de clima tropical úmido. Fatores como variações zonais, a duração do dia e a latitude influenciam a quantidade dessa radiação que atinge a superfície terrestre. No entanto, as atividades humanas desempenham um papel significativo na modificação dos fluxos naturais de radiação, transformando parte dessa energia em calor em áreas localizadas, o que resulta em desequilíbrios nos fluxos regionais de energia.

O equilíbrio energético em ambientes urbanos é resultado da acumulação de calor proveniente da radiação solar direta, que é dispersa no ambiente por meio de processos de

radiação, convecção e condução, juntamente com a radiação de onda longa refletida pela superfície e o calor gerado por atividades humanas, tais como indústrias, transporte, iluminação, metabolismo basal, entre outros (Santana et al., 1997).

É importante observar que a característica urbana costuma resultar em um albedo mais baixo em comparação com áreas rurais, o que significa que as cidades têm uma tendência a absorver mais radiação solar. No entanto, no que diz respeito à radiação de onda longa, o comportamento do ambiente urbano é semelhante ao ambiente rural, com a exceção de que nas cidades ocorre uma maior perda de radiação de onda longa durante a noite. Isso ocorre devido a fatores relacionados à urbanização, como materiais de construção, densidade populacional e atividades noturnas, que afetam o equilíbrio térmico.

O estudo de Freitas et al. (2005) destaca a comparação entre o clima urbano e o clima nas áreas verdes na cidade de Recife, revelando que a diferença de temperatura entre essas regiões pode ser significativa, chegando a quase 3°C, com a área urbana geralmente mais quente do que as áreas verdes. Essa variação na temperatura está diretamente relacionada às transformações na superfície e, em particular, ao albedo das áreas urbanas. A alteração da superfície em ambientes urbanos resulta em uma redução do albedo, que é a capacidade de refletir a radiação solar. Nas cidades, devido a elementos como edifícios, asfalto e concreto, a superfície tende a absorver mais calor do que áreas verdes, como parques e vegetação. Isso implica em temperaturas mais elevadas nas áreas urbanas, um fenômeno conhecido como "Ilha de Calor".

Em várias pesquisas, esse fenômeno é descrito como uma anomalia térmica, em que a temperatura da superfície na área em questão é significativamente mais alta do que nas áreas circundantes, criando um sistema de circulação local. Diversos estudos sobre ilhas de calor chegaram à conclusão de que nas áreas urbanas, a temperatura do ar é mais elevada em comparação com as áreas periféricas (Moreira et al., 2009).

De acordo com Nóbrega et al. (2016), a configuração urbana de uma cidade desempenha um papel significativo na formação das ilhas de calor, especialmente ao longo do eixo com maior concentração de construções verticais na faixa litorânea. Isso impacta diretamente nas temperaturas durante o período diurno, assim como em outras regiões durante o período noturno. Os padrões de circulação natural e velocidade do vento, também são comprometidos nessas áreas com grandes construções verticais. Todos esses fatores citados anteriormente, juntamente com as mudanças no uso e cobertura da terra, provocam modificações no balanço energético, gerando nessas localidades a formação de ilhas de calor.

Por outro lado, as áreas próximas a regiões arborizadas e com menor densidade urbana demonstraram ter temperaturas mais baixas.

Portanto, em suma, a ilha de calor é um fenômeno caracterizado por temperaturas mais elevadas em áreas urbanas em comparação com as áreas rurais circundantes, de modo que uma área mais quente fica rodeada por uma área com temperaturas menores, como pode-se observar na figura 1.

Figura 1: Perfil da variação da temperatura nas Ilhas de Calor Urbanas.



Fonte: Costa et al. (2017).

Essas descobertas são cruciais para entender os efeitos do desenvolvimento urbano no clima local e ressaltam a importância de estratégias de planejamento urbano sustentável, que incluam o aumento de áreas verdes, o uso de materiais e revestimentos mais reflexivos e o desenvolvimento de políticas de mitigação do calor urbano. Além disso, enfatizam a necessidade de considerar os impactos das mudanças climáticas e da urbanização nas cidades, visando criar ambientes mais confortáveis e saudáveis para os habitantes.

### 2.3. Conforto Térmico Humano

O conforto térmico representa a sensação de bem-estar em relação à temperatura ambiente, sendo avaliado a partir de parâmetros tanto objetivos quanto subjetivos. De acordo com Frota e Schiffer (2001), as pesquisas relacionadas ao conforto térmico podem ser conduzidas com base em diversos índices: biofísicos (que tratam das trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente), fisiológicos (que analisam as reações causadas por condições

específicas de temperatura do ar, temperatura média, umidade do ar e velocidade do vento) e subjetivos (que consideram as sensações pessoais de conforto ou desconforto térmico).

Usualmente no corpo humano, o conforto térmico é alcançado quando as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente ocorrem sem grande esforço, e a dissipação de calor é suficiente para manter a temperatura interna próxima dos 37°C. Mas, as condições necessárias para que alguém se sinta termicamente confortável variam de pessoa para pessoa, devido às diferenças tanto fisiológicas quanto psicológicas individuais. Quando as condições ambientais ultrapassam certos limites, o corpo humano ativa seus mecanismos de termorregulação, para manter a temperatura interna constante. Quando a temperatura excede esses limites de conforto, o corpo começa a apresentar sinais de fadiga térmica, desconforto, redução no desempenho no trabalho, limitações nas atividades intelectuais, problemas de saúde e, em casos extremos, até mesmo riscos à vida (Sorgato et al., 2014).

Com a expansão desordenada das cidades, uma parte significativa da vegetação é removida para permitir a construção de estradas, edifícios e áreas urbanas adicionais, resultando no aumento da área pavimentada nas áreas urbanas. Isso leva a mudanças climáticas significativas nas cidades, devido à perda de árvores, incluindo maior exposição à radiação solar direta, aumento da temperatura do ar, diminuição da umidade, alterações nos padrões de vento, maior emissão de radiação de onda longa e modificações nos padrões de precipitação. Essas mudanças contribuem para o desconforto térmico da população urbana, que, para lidar com o calor, aumenta o consumo de energia para sistemas de climatização (Abreu et al., 2008).

As áreas verdes desempenham um papel essencial no planejamento urbano, quando o assunto é conforto térmico, já que a vegetação desempenha uma função significativa na melhoria e estabilização do microclima. Isso ocorre devido à redução das variações de temperatura, à diminuição da exposição direta ao sol, ao aumento das taxas de evapotranspiração e à diminuição da velocidade do vento. Além disso, as áreas verdes proporcionam o benefício adicional do sombreamento proporcionado pela vegetação, o que resulta na redução das temperaturas na superfície dos objetos que se encontram sob essa proteção natural. É importante ressaltar que, ao contrário dos materiais de construção que absorvem calor, a vegetação age retirando calor do ambiente e transformando-o, em vez de armazená-lo (Milano et al., 2000; Sharms et al., 2009).

É de extrema importância identificar áreas onde o desconforto térmico devido ao calor excessivo está presente, a fim de elaborar estratégias eficazes tanto no âmbito de políticas públicas e comunitárias, quanto por meio de ações individuais para mitigar esse impacto (Alcântara et al., 2020).

## 2.4. Influência das brisas marítimas e terrestres

Durante o dia, o continente aquece mais rapidamente do que o oceano adjacente, resultando em uma pressão atmosférica mais baixa sobre o continente em comparação com o oceano. Isso faz com que o vento na superfície sopra do oceano em direção ao continente, conhecido como brisa marítima (figura 2). Essa brisa marítima pode penetrar até 100 km terra adentro.

À noite, o continente perde calor mais rapidamente do que o oceano, resultando em temperaturas mais altas no oceano em comparação com o continente. Isso faz com que a pressão atmosférica seja maior sobre o continente, levando o vento a soprar do litoral em direção ao oceano, conhecido como brisa terrestre. A brisa terrestre também pode afetar áreas até 100 km mar adentro (Ferreira et al., 2005).

As brisas terrestres e marítimas ocasionalmente passam despercebidas. Na Região Nordeste do Brasil, por exemplo, onde os ventos alísios são constantes e vigorosos ao longo de todo o ano, frequentemente as brisas apenas colaboram para modificar ligeiramente a direção e a intensidade desses ventos. Dependendo da orientação da costa e da velocidade do vento, decorrente da combinação dos alísios com as brisas, a velocidade pode ser maior ou menor do que a do alísio (Varejão-Silva, 2001).

Com as mudanças climáticas, o aumento das áreas urbanas e o aquecimento global, eventos de precipitação mais intensos podem ocorrer na região. Bender et al. (2019) demonstraram que esses eventos extremos de precipitação podem se tornar ainda mais severos, devido à maior instabilidade atmosférica e à maior disponibilidade de umidade transportada pelas brisas marítimas, aumentando assim a probabilidade de ocorrência de grandes volumes de precipitação na região metropolitana.

Figura 1: Representação esquemática do fenômeno de brisa marítima e terrestre.



Fonte: Instituto Português do Mar e da Atmosfera (Acesso em novembro de 2023).

### 3. MATERIAL E METODOLOGIA

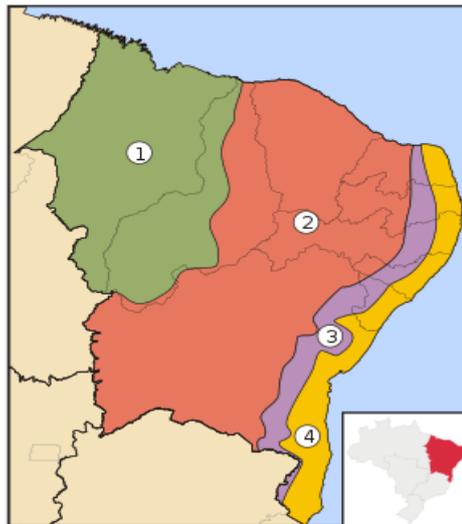
#### 3.1. Área de estudo

A Região Nordeste do Brasil (RNB) situa-se no extremo leste da América do Sul, banhada ao norte e a leste pelo Oceano Atlântico. O nordeste brasileiro inclui três climas diferentes, clima litorâneo úmido, clima tropical e clima tropical semiárido. A área de estudo deste trabalho na RNB, são as 8 capitais estaduais do Nordeste que apresentam o clima litorâneo úmido, devido sua proximidade ao oceano.

As capitais Natal (RN), João Pessoa (PB), Recife (PE), Maceió (AL), Aracaju (SE), e Salvador (BA), estão no litoral leste do RNB, em uma sub-região denominada zona da mata, com o bioma predominante de mata atlântica, que ocupa quase 28,84% do território da RNB, Tabarelli et al., (2006). Já as capitais Fortaleza (CE), São Luís (MA), estão no litoral norte do RNB, na região denominada Sertão (Fortaleza/CE) e meio norte (São Luís/MA), (figura 3).

Segundo a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) 2023, RNB é dividida em 4 sub-regiões, levando-se em consideração as características físicas, econômicas e sociais. São elas: Meio-Norte, Sertão, Agreste e Zona da Mata, como mostra a (figura 3).

Figura 3: Mapa das sub-regiões nordestinas: 1) Meio – Norte; 2) Sertão; 3) Agreste; 4) Zona da Mata.



Fonte: Embrapa (2023).

Das 8 capitais estudadas, 4 delas estão na lista dos 20 municípios brasileiros com mais 200 mil habitantes, com a maiores taxas de densidade demográficas urbanas no Brasil (tabela 1). Esses dados estão diretamente relacionados as mudanças no uso e ocupação do solo desses grandes centros urbanos, e as consequências dessas mudanças, tanto no clima, quanto no meio ambiente de forma geral, (Farias et Al., 2017).

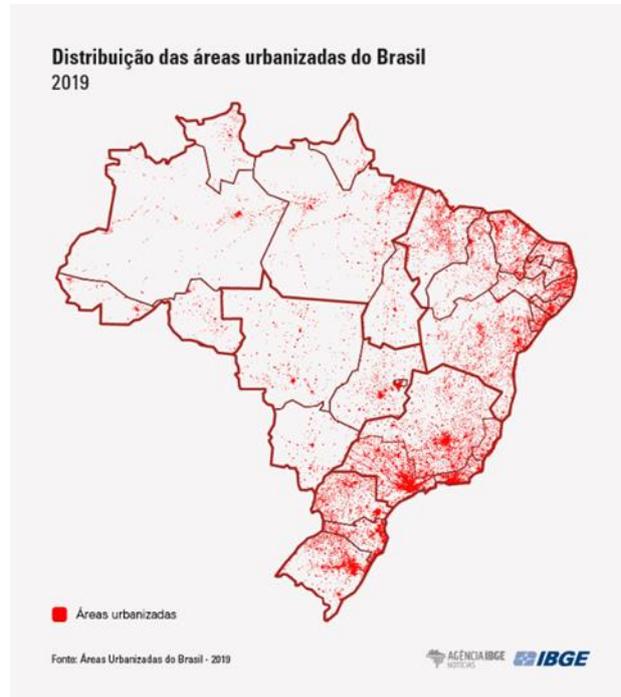
Tabela 1:Lista dos 20 municípios brasileiros com mais 200 mil habitantes, com a maiores taxas de densidade demográficas urbanas.

Município	UF	Pop_Total_2010	Pop_Urb_2010	Pop_Rur_2010	Est_Pop_2015	Área_Urbana	Dens_Demo_Urb
Diadema	SP	386.089	386.089	0	412.428	27,83	13.875
São João de Meriti	RJ	458.673	458.673	0	460.625	35,19	13.033
Taboão da Serra	SP	244.528	244.528	0	272.177	19,31	12.662
São Paulo	SP	11.253.503	11.152.344	101.159	11.967.825	949,61	11.744
Recife	PE	1.537.704	1.537.704	0	1.617.183	142,35	10.802
Carapicuíba	SP	369.584	369.584	0	392.294	34,47	10.723
Osasco	SP	666.740	666.740	0	694.844	62,93	10.596
Salvador	BA	2.675.656	2.674.923	733	2.921.087	259,56	10.306
São Vicente	SP	332.445	331.817	628	355.542	32,32	10.268
Olinda	PE	377.779	370.332	7.447	389.494	38,64	9.585
Santo André	SP	676.407	676.407	0	710.210	78,24	8.646
Fortaleza	CE	2.452.185	2.452.185	0	2.591.188	285,06	8.602
Mauá	SP	417.064	417.064	0	453.286	51,03	8.173
Santos	SP	419.400	419.086	314	433.966	51,75	8.098
São Bernardo do Campo	SP	765.463	752.658	12.805	816.925	98,40	7.649
Belo Horizonte	MG	2.375.151	2.375.151	0	2.502.557	314,28	7.557
Belford Roxo	RJ	469.332	469.332	0	481.127	66,36	7.072
Belém	PA	1.393.399	1.381.475	11.924	1.439.561	199,48	6.925
Rio de Janeiro	RJ	6.320.446	6.320.446	0	6.476.631	925,31	6.831
Natal	RN	803.739	803.739	0	869.954	118,93	6.758

Fonte: Farias et al. (2017).

A figura 4 a seguir, ilustra a distribuição das áreas urbanas no Brasil. As áreas da RNB próximas ao litoral, onde a urbanização é mais intensa, ocorrem as mudanças mais significativas no uso e ocupação do solo. Nesses locais, as substituições de áreas de vegetação por estruturas edificadas ocorrem de maneira mais acentuada. É de extrema importância conduzir estudos destinados a compreender essa dinâmica, bem como o comportamento climático e ambiental, para garantir o bem-estar e a saúde das populações residentes nessas áreas.

Figura 4: Distribuição das áreas urbanas do Brasil.



Fonte: IBGE (2019).

São Luís/MA:

O aumento da densidade populacional em São Luís pode ser notado através, da crescente presença de edifícios na cidade. Esse fenômeno é resultado de um processo acelerado de urbanização que teve início nos anos 1960. Esse tipo de construção se tornou ainda mais evidente no final do século XX e início do século XXI, e atualmente, a paisagem urbana da cidade é caracterizada por uma crescente quantidade de edifícios. A figura 5 abaixo, mostra essa relação de número de prédios construídos/ano em São Luís.

Figura 5: Gráfico de número de prédios construídos/ano em São Luís.



Fonte: SEMA/SEMTHURB (2005)

Aracaju/SE:

Segundo Lima et al. (2007), o município de Aracaju, capital do estado de Sergipe, apresenta precipitação média anual de 1.590 mm e temperatura média anual de 26°C. O período chuvoso está entre os meses de março a agosto. Apresenta um clima úmido e subúmido, variando no período do verão.

O processo de verticalização da cidade de Aracaju, teve início nos anos 50, ocorrendo de forma pontual, e aos poucos, foi alterando de forma permanente a paisagem urbana, que antes só era formada por um plano extenso horizontal de construções (Diniz et al., 2009). Nas figuras a seguir, é possível observar as mudanças ocorridas ao longo dos anos.

Figura 6: Imagem da década de 50/60 (a) e imagem de 2013 (b) panorâmico da Praça Fausto Cardoso, localizada em Aracaju – SE.



(a)



(b)

Figura 7: Imagem da década de 70 (c) e imagem de 2010 (d) panorâmico do Estádio Estadual Lourival Baptista, localizada em Aracaju – SE.



(c)



(d)

Os danos causados pela verticalização e o avanço urbano ao longo das décadas comprometeram o regime de circulação do vento na capital, além de destruir muitas áreas de mangues da região. Essas alterações na ocupação do solo urbano, desequilibra o balanço

energético da cidade, alterando de forma significativa a sensação de conforto térmico dessas localidades (Diniz et al., 2009).

#### Fortaleza/CE:

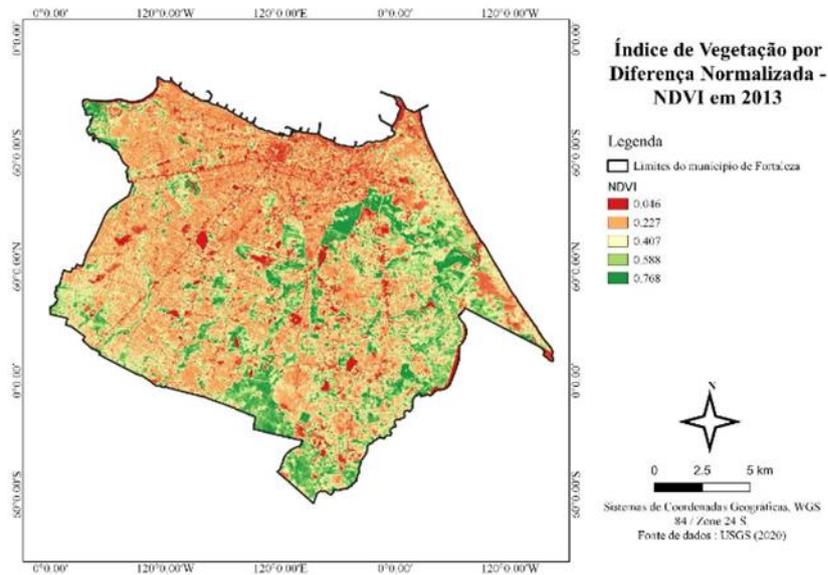
Com o crescimento urbano rápido e desordenado, Fortaleza, a capital do Ceará, deu origem a um ambiente geográfico artificial e com qualidade ambiental inadequada, marcado pela expansão de áreas tanto periféricas quanto centrais. As alterações no uso e ocupação do solo têm um impacto significativo no balanço de energia e na temperatura da cidade, resultando no fenômeno de aquecimento da área.

Apresentando características de um clima semiárido e seco, a capital cearense, representa a maior parte da RNB que pertencem a sub-região do sertão. O clima é tropical semiúmido, com média de temperatura anual de 27°C, apresentando um índice pluviométrico de aproximadamente 1.600 milímetros anuais, com o maior nível de concentração entre os meses de janeiro e julho (INPE, 2020).

As figuras 8 e 9 a seguir foram extraídas de Barboza et al. (2020), a fim de avaliar uma associação direta entre o NDVI (sigla em inglês para Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e o nível de urbanização, além do impacto nos valores de temperatura de superfície na cidade de Fortaleza. Nota-se que áreas com NDVI mais baixo exibem temperaturas mais elevadas, ressaltando a relevância da vegetação no contexto do clima urbano e a importância do cuidado e do planejamento no uso do solo urbano.

Pela análise da Figura 8, percebe-se a concentração urbana na porção norte da cidade, na maior parte da localidade com NDVI próximo a 0. A porção sul do município apresenta características rurais, com maiores áreas com NDVI próximo a 1. Regiões com uma cobertura vegetal significativa no mapa térmico apresentaram temperaturas mais baixas devido à sua capacidade de reter energia para conduzir os processos de evapotranspiração. Em contrapartida, áreas com valores baixos indicam locais com vegetação estressada ou áreas construídas (figura 8).

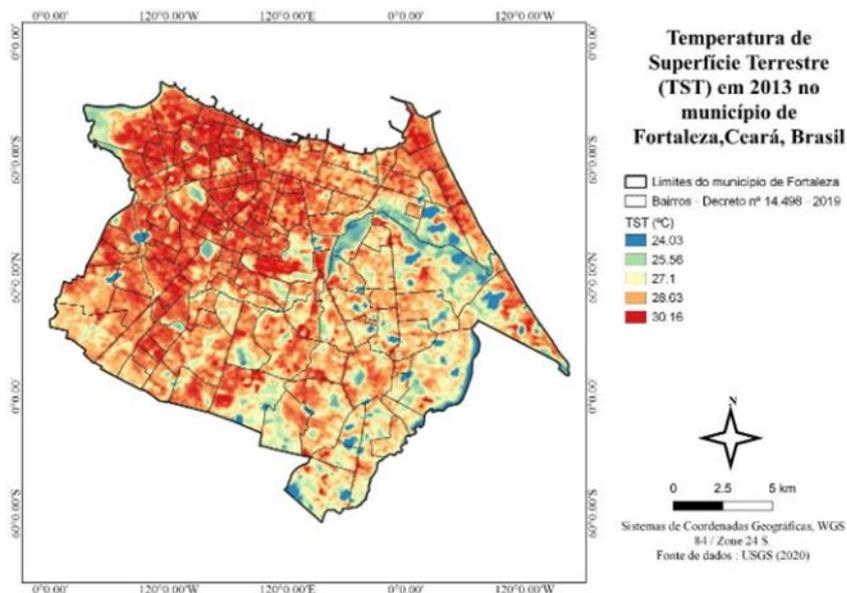
Figura 8: Carta de índice de vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), da cidade de Fortaleza/CE, ano de 2013



Fonte: Barboza et al. (2020).

Na figura 9, é possível analisar a Temperatura da Superfície Terrestre (TST) em 2013, na cidade de Fortaleza/CE. Observou-se uma amplitude térmica superior a 6°C, possivelmente devido à ausência de árvores. Isso resulta na absorção e retenção de calor, agravando o fenômeno das ilhas de calor, na região (Barboza et al., 2020).

Figura 9: Carta da Temperatura da Superfície Terrestre (TST) em 2013 da cidade de Fortaleza/CE, ano de 2013.



Fonte: Barboza et al. (2020).

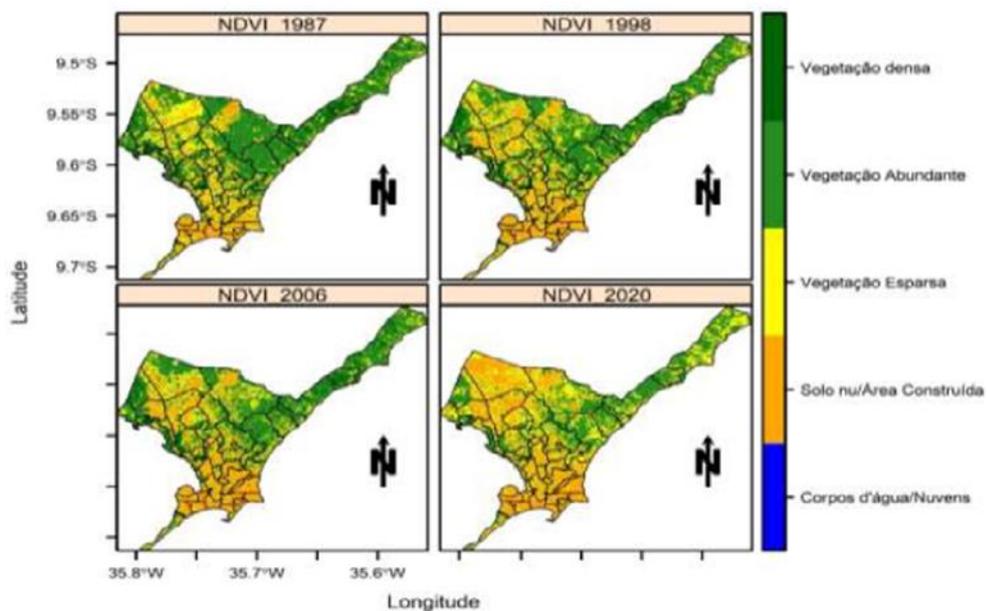
Maceió/AL:

A cidade de Maceió, é a capital do estado de Alagoas. O clima dessa cidade é tropical, ou seja, quente e úmido, o relevo é composto por planícies litorâneas, maciço cristalino e tabuleiro costeiro, com uma vegetação típica do bioma Mata Atlântica. As temperaturas médias variam entre 25°C a 26,4°C, com mínimas e máximas de 19°C e 31°C, respectivamente. Maceió registra valores anuais de chuva entre 1.500 e 2.000 mm, com estações bem definidas: estação seca, entre os meses de setembro a fevereiro e a estação chuvosa, entre os meses de março a agosto (Correia Filho et al., 2019).

Para entendermos a importância dos estudos sobre conforto térmico nessa região, vamos observar as figuras abaixo que mostram os percentuais de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), do uso e ocupação do solo e da Temperatura da Superfície Terrestre (TST) durante os anos de 1987 a 2020.

A figura 10 abaixo, mostra que os percentuais das categorias obtidas do NDVI, revelaram uma diminuição significativa nas áreas com vegetação (62,7%) na cidade de Maceió/AL, entre os anos de 1987 a 2020. Isso é preocupante, pois exibe a supressão da vegetação da Mata Atlântica, bioma extremamente ameaçado e que tem relação diretamente com dinâmica da chuva da RNB, (Correia Filho et al., 2019; Batista et al., 2021).

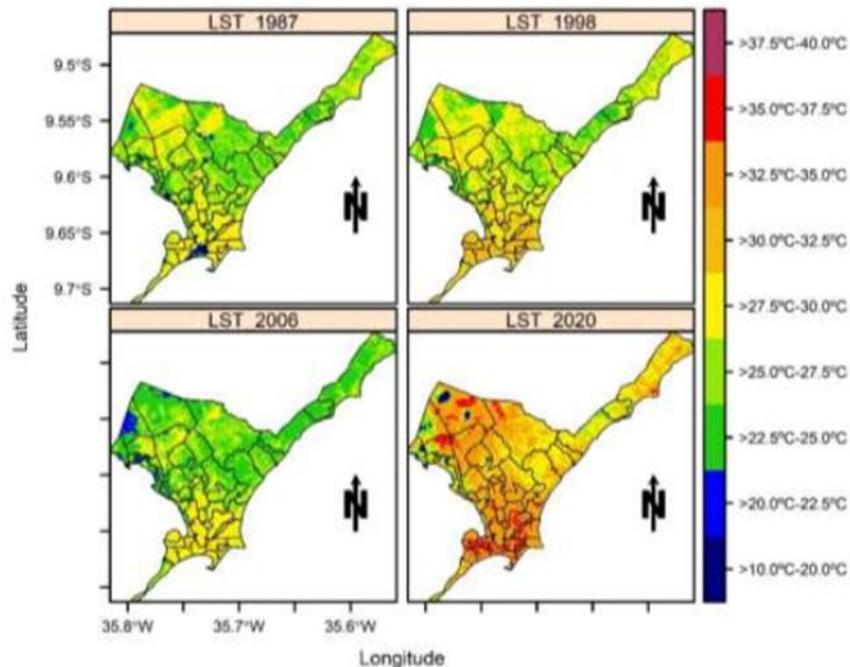
Figura 10: Avaliação espacial do uso e ocupação do solo na cidade de Maceió via NDVI, durante os anos de 1987, 1998, 2006 e 2020.



Fonte: Batista et al. (2021).

Na figura 11, exibe a variabilidade de espacial da TST (temperatura da superfície terrestre), na cidade de Maceió. Durante os anos de 1987, 1998, 2006 e 2020 a TST variou entre 22,5°C a 32,5°C, sendo que as diferenças não ultrapassaram 7,5°C. Tais diferenças identificadas no estudo de Correia Filho et al. (2019), se devem aos empreendimentos comerciais e habitacionais na área de estudo que nas últimas décadas aumentou consideravelmente (Batista et al., 2021).

Figura 11: Avaliação temporal TST em (°C) na cidade de Maceió via NDVI, durante os anos de 1987, 1998, 2006 e 2020.



Fonte: Batista et al. (2021).

#### Natal/RN:

A cidade de Natal, capital do Rio Grande do Norte, é a mais populosa de todo o estado, a 31 metros do nível do mar e com o clima quente e subúmido, com chuvas mais intensas no período de março a junho. A média da temperatura máxima (TX) em março é de 27,5°C e a temperatura mínima (TN) em julho é por volta de 25°C, (Coutinho et al., 2014).

A população da cidade de Natal reside 100% na área urbana, o que significa que a taxa de urbanização dela é de 100%. Os resultados do estudo desenvolvido por Lapola et al. (2019) apontam que a formação de ilhas de calor urbana afeta, em especial, as áreas que são altamente vulneráveis, como bairros pobres das Regiões Administrativas Norte e Oeste (antigos espaços de ocupação irregular). A integração da questão das mudanças climáticas às políticas

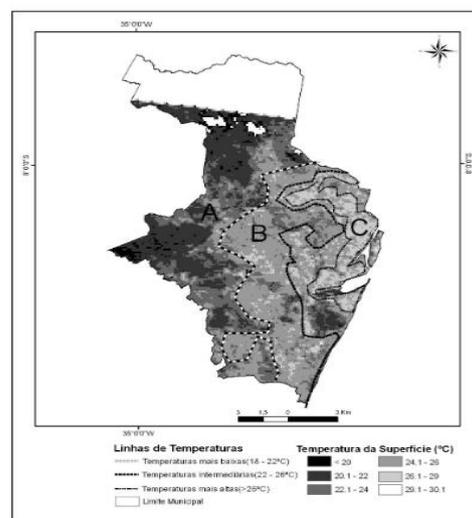
públicas ou ações de planejamento urbano local ainda é um grande desafio para a gestão da cidade.

#### Recife/PE:

A cidade de Recife, capital de Pernambuco, localiza-se no centro leste da região litorânea do Nordeste brasileiro. Boa parte da área urbana está sobre sua planície (Moreira, et al., 2009). O clima é marcado por temperaturas elevadas e alta umidade, com ocorrência de chuvas durante os meses das estações de outono e inverno. Os meses de janeiro e fevereiro são os mais quentes do ano, com temperaturas maiores que 26°C e nos meses de julho e agosto as temperaturas ficaram menores que 24°C (Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, 2010).

De Barros et al. (2013), em seu estudo, dividiu a cidade do Recife em três distintas zonas de temperatura, identificadas como A, B e C (figura 12), com variações superiores a 10°C. A zona A engloba as temperaturas mais amenas, com um máximo de 22°C, predominantemente presente nas áreas periféricas e em unidades de conservação. Essa região configura uma zona de conforto térmico ambiental dentro do município. A zona B, representa a região com valores de temperatura intermediários, com a amplitude de 22°C a 26°C. A Zona B permanece estável, mas se ela sofrer alterações futuras ela pode apresentar formações de ilha de calor. Já a zona C, representa o conjunto de valores acima de 26°C, localizando-se nas áreas centrais litorâneas onde se encontra grande parte dos edifícios da cidade.

Figura 12: Zonas de Temperatura da cidade de Recife/PE, 2013.



Fonte: De Barros et al. (2013).

#### João Pessoa/PB:

João Pessoa, capital do Estado de Paraíba, faz parte da mesorregião da Zona da Mata Paraibana. A temperatura do ar média é de 28°C, a temperatura mínima alcança valores por volta 23°C, principalmente no período mais chuvoso. No período mais seco, as médias máximas podem alcançar 28°C, com amplitude térmica de até 5°C. As temperaturas diurnas não ultrapassam os 33°C.

Na cidade de João Pessoa, estudos relacionados ao conforto térmico em espaços ao ar livre têm ganhado destaque recentemente. Um exemplo é a pesquisa realizada por Santos & Santos (2013), que investigou o campo térmico e a ocorrência de ilhas de calor na estrutura urbana de João Pessoa. Constatou-se que quatro bairros da cidade enfrentam desafios no que diz respeito ao conforto térmico e à formação de ilhas de calor, sendo esses problemas mais pronunciados nas áreas mais urbanizadas. Nestas áreas, a impermeabilização do solo foi mais intensa, enquanto a cobertura vegetal foi reduzida.

Este estudo tem como objetivo contribuir para o progresso da pesquisa sobre o conforto térmico em espaços ao ar livre, especialmente em cidades de clima quente e úmido, como é o caso de João Pessoa. O tema do conforto ambiental em João Pessoa é de suma importância, visto que a cidade é reconhecida como uma das mais arborizadas do Brasil. Além disso, abriga um significativo fragmento de Mata Atlântica, a Mata do Buraquinho, tornando-se um destino turístico de enorme potencial.

#### Salvador/BA:

A cidade de Salvador, no estado da Bahia, tem um clima predominantemente tropical e úmido durante todo o ano. A climatologia do estado da Bahia entre os anos de 1961 – 1990, apontaram que as médias mensais das temperaturas máximas apresentam pouca variação durante o ano, com o valor mais alto de 30°C (fevereiro e março) e o mais baixo de 26,2°C (julho), enquanto a mínima é de aproximadamente 24°C no verão e 21°C no inverno. Sua umidade relativa não varia muito anualmente, 79% (fevereiro) para 83,1% (maio). Os ventos de sudeste são predominantes em Salvador, com velocidade média de 3,2 m/s no inverno e 2,8 m/s no verão. Junho é o mês de insolação mais baixa, com 167,2 horas e janeiro o mais alto, com 245,6 horas.

O mesoclima de Salvador, geralmente, se caracteriza por uma tendência de estresse térmico positivo durante o dia e ao longo do ano, inclusive no período de inverno, apesar de observarem-se variações climáticas perceptíveis entre as estações.

### 3.2. Dados

Foram utilizados, para esse estudo, dados diários de temperaturas (máximas (TX), mínimas (TN), temperatura do ponto de orvalho (TD)) e umidade relativa do ar (UR), que fazem parte da rede de estações meteorológicas convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O período escolhido para o estudo foi de 01 de janeiro de 1961 até 31 de dezembro de 2020, para as cidades de Natal (RN), João Pessoa (PB), Recife (PE), Maceió (AL), Aracaju (SE), Salvador (BA) Fortaleza (CE) e São Luís (MA). Chama atenção o fato da cidade de Teresina (PI) estar de fora desta pesquisa. Isso se deve ao fato que foram escolhidas, apenas, as capitais da região Nordeste que ficam na área litorânea dos seus respectivos estados, o que não ocorre com a cidade de Teresina.

Para essas 8 cidades da RNB, foram escolhidos e calculados dois índices para caracterizar o grau de conforto/desconforto sentido pela população: o Índice de Desconforto Humano (IDK), que permite determinar as condições de conforto, desconforto ou, até mesmo, estresse, devido ao frio ou calor, e o Índice de Calor (IC), índice recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) que visa determinar qual o efeito da umidade relativa sobre a temperatura do ar.

### 3.3. Índice de desconforto humano (IDK)

Vários índices foram criados (índice biofísicos, índices fisiológicos e índices subjetivos) para determinar o grau de conforto e desconforto térmico e, em geral, esses índices consideram três principais elementos: temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento. Nesse estudo foi utilizado o Índice de Desconforto Humano (IDK): Um dos índices mais conhecido e utilizado para se calcular o grau de conforto ou desconforto térmico sofrido pela população das grandes cidades (Ono & Kawamura 1991).

Para se calcular esse índice é necessária a utilização dos dados de temperatura ar (°C) e temperatura do ponto de orvalho (°C). O IDK é calculado conforme a equação 1 a seguir: Para se calcular esse índice é necessária a utilização dos dados de temperatura ar (°C) e temperatura do ponto de orvalho (°C). O IDK é calculado conforme a equação 1 a seguir:

$$IDK = 0,99.T + 0,36.T_d + 41,5 \quad (1)$$

Onde T é a temperatura do ar e Td é a temperatura do ponto de orvalho, ambas em °C.

A tabela abaixo mostra a distribuição das zonas de conforto e desconforto térmico para diferentes valores do Índice de Desconforto Humano (IDK) segundo (Ono & Kawamura 1991).

Tabela 2: Classificação do IDK.

Valores do $ID_k$	Condições Térmicas
$ID_k < 80$	Estresse devido ao calor
$75 < ID_k < 80$	Desconforto devido ao calor
$60 < ID_k < 75$	Confortável
$55 < ID_k < 60$	Desconforto devido ao frio
$ID_k < 55$	Estresse devido ao frio

Fonte: Ono e Kawamura (1991).

O Índice de Calor (IC) é um dos índices mais utilizados na atualidade. Esse índice visa determinar o efeito da umidade relativa sobre a temperatura do ar. Em outras palavras, é um índice utilizado para medir a intensidade do calor que uma pessoa pode sentir, variando a temperatura e umidade.

Para calcular o IC foi utilizada a equação geral a seguir (equação 2), desenvolvida por meio de análise de regressões múltiplas das equações de Steadman (1970). As variáveis utilizadas para o cálculo foram a temperatura (T) e a umidade relativa (UR).

$$IC = \frac{5}{9} [(C_1 + C_2T + C_3UR + C_4TUR + C_5T^2 + C_6UR^2 + C_7T^2UR + C_8TUR^2 + C_9T^2UR^2) - 32] \quad (2)$$

Onde:

$$C_1 = -42,379; C_2 = 2,04901523; C_3 = 10,14333127; C_4 = -0,22475541;$$

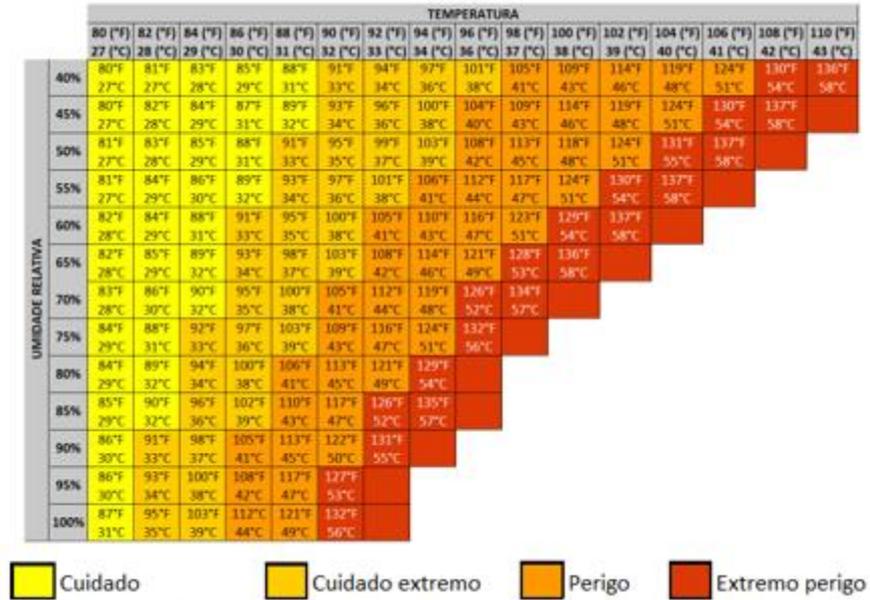
$$C_5 = -6,83783 \times 10^{-3}; C_6 = -5,481717 \times 10^{-2}; C_7 = 1,22874 \times 10^{-3};$$

$$C_8 = 8,5282 \times 10^{-4}; C_9 = -1,99 \times 10^{-6}$$

O IC é um índice simples que tem como principal vantagem a facilidade de implementação para monitoramento das condições de exposição ao calor. A fórmula geral desse índice é aplicada quando as temperaturas ambientais atingirem 26°C e a umidade relativa estiver acima de 40%.

Com o cálculo de (IC), conseguimos analisar a temperatura aparente, ou seja, a sensação térmica. Na figura 13 e na tabela 1, podemos observar os níveis de alerta e alguns possíveis sintomas no corpo humano correlacionados ao estresse térmico.

Figura 13: Probabilidade de distúrbios de calor com exposição prolongada ou atividade extenuante.



Fonte: Neto et al. (2023)

Tabela 3: Alerta para o Índice de Calor (IC).

IC (°C)	Nível de Alerta	Síndrome de Calor (sintomas)
Menor que 27°C	Ausência de Alerta	-----
27 a 32°C	Atenção	Possível fadiga em casos de exposição prolongada e atividade física.
32,1 a 41°C	Muito Cuidado	Possibilidade de câibras, esgotamento e insolação para exposições prolongadas e atividade física.
41,1 a 54°C	Perigo	Câibras, insolação e esgotamento prováveis. Possibilidade de dano cerebral (AVC), para exposições prolongadas com atividade física.
Maior que 54°C	Extremo Perigo	Insolação e Acidente Vascular Cerebral (AVC) iminente.

Fonte: Steadman, 1970.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O conforto térmico refere-se ao estado de bem-estar mental que indica satisfação com as condições térmicas do ambiente ou à sensação de neutralidade térmica. Isso ocorre quando a quantidade de calor gerada pelo organismo por meio do metabolismo é trocada em igual proporção com o ambiente (Buriol et al., 2004).

Nessa seção, serão apresentados e discutidos os resultados das análises dos Índices de Calor (IC) e Desconforto Humano (IDK) para o período de referência de 1961 a 2020, nas oito capitais dos estados da RNB, situadas ao longo da costa do oceano Atlântico, com o objetivo de identificar os principais fatores que contribuíram para o aumento ou a redução dos índices.

Nesse contexto, as variáveis meteorológicas centrais analisadas nos dois índices incluem as temperaturas máximas (TX), mínimas (TN) e a temperatura do ponto de orvalho (TD), bem como a umidade relativa do ar (UR). É importante ressaltar que a temperatura desempenha um papel crucial, exercendo uma influência direta sobre o conforto térmico.

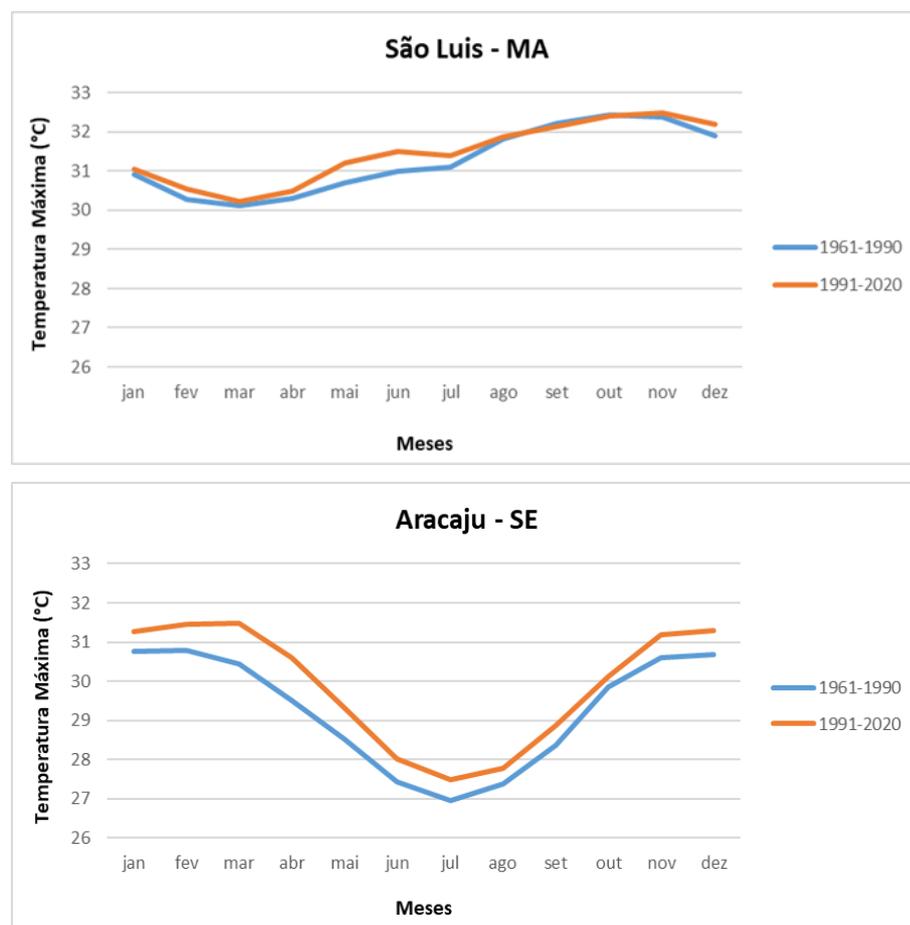
As temperaturas máximas registradas na análise climatológica, representadas na Figura 15, evidenciam as variações da temperatura ao longo dos meses do ano nas capitais do RNB sob estudo, abrangendo os períodos de 1961 a 1990 (em azul) e de 1991 a 2020 (em vermelho). Através da Figura 14, pode-se notar que as temperaturas máximas atingiram seus valores mais elevados nos meses de setembro a novembro nas capitais ao norte da RNB (São Luís, Fortaleza, Natal), enquanto as capitais a leste da RNB apresentaram temperaturas máximas mais altas nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro.

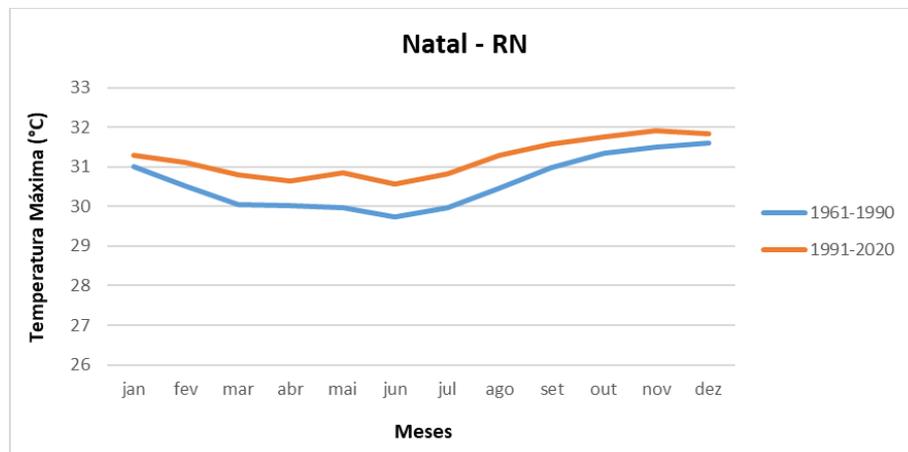
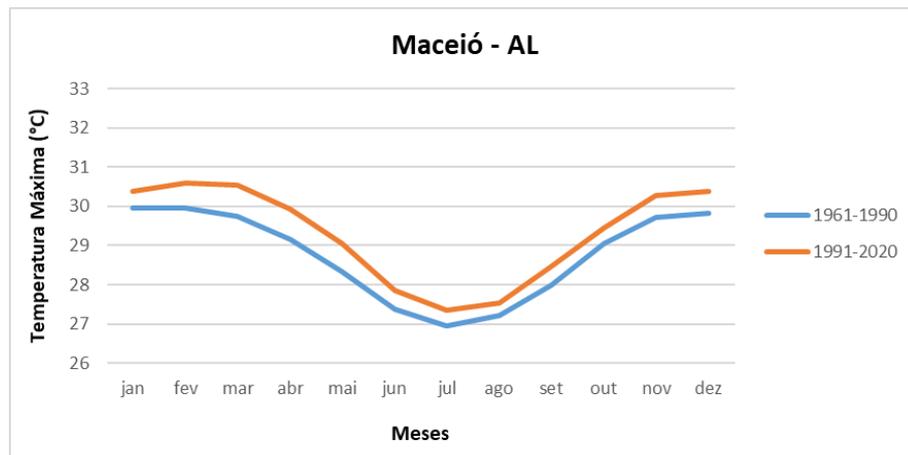
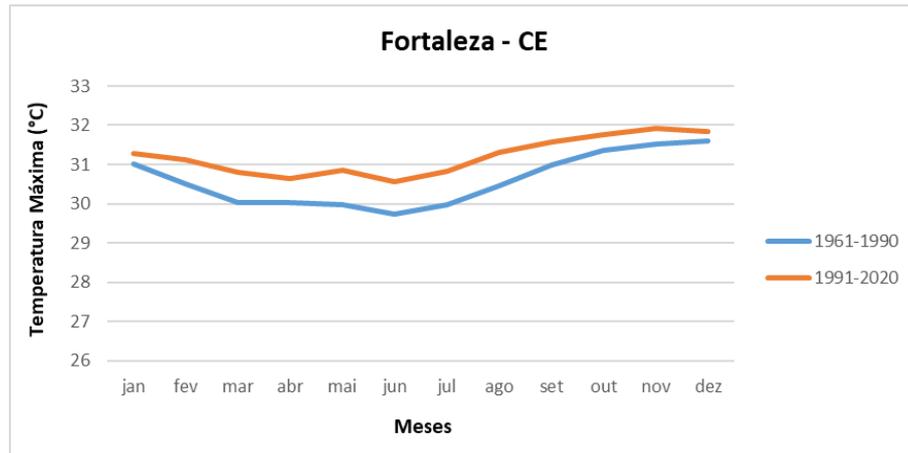
Na análise comparativa entre as séries climatológicas dos períodos de 1961-1990 e 1991-2020, verificou-se um aumento nas temperaturas máximas (TX) ao longo do tempo na maioria das capitais. Em contrapartida, destacam-se São Luís – (MA) e João Pessoa – (PB), que apresentaram valores mais elevados de TX no intervalo de 1961-1990, notadamente nos meses de agosto a outubro para São Luís e, nos meses de janeiro a março e de agosto a dezembro para João Pessoa, conforme ilustrado na Figura 14.

As capitais localizadas mais ao norte da RNB demonstram, ao longo do ano, um padrão semelhante na curva do gráfico (Figura 14), caracterizado por poucas variações significativas na temperatura, mantendo-se entre 29°C e 32°C de temperatura máxima durante o período analisado. Já as capitais a leste do RNB evidenciam, nos meses de março, o início de uma redução nas temperaturas máximas, uma tendência que persiste até aproximadamente agosto. A partir desse ponto, gradualmente ao longo dos meses seguintes, a temperatura máxima

volta a aumentar, atingindo seu pico em dezembro. Os valores de TX nessas capitais a leste da RNB, no período em análise variaram de 27°C a 31°C. Essa dinâmica acompanha o ciclo de chuvas na RNB, onde a estação chuvosa no Nordeste do Brasil ocorre geralmente entre janeiro e junho, seguida pela estação seca de julho a dezembro. Vale ressaltar que a estação chuvosa tem seu ápice em março, abril e maio para essas regiões (Da Silva et al., 2004).

Figura 14: Variação de temperatura máxima anual das capitais do RNB, de 1961 a 1990 (em azul) e 1991 a 2020 (em vermelho).







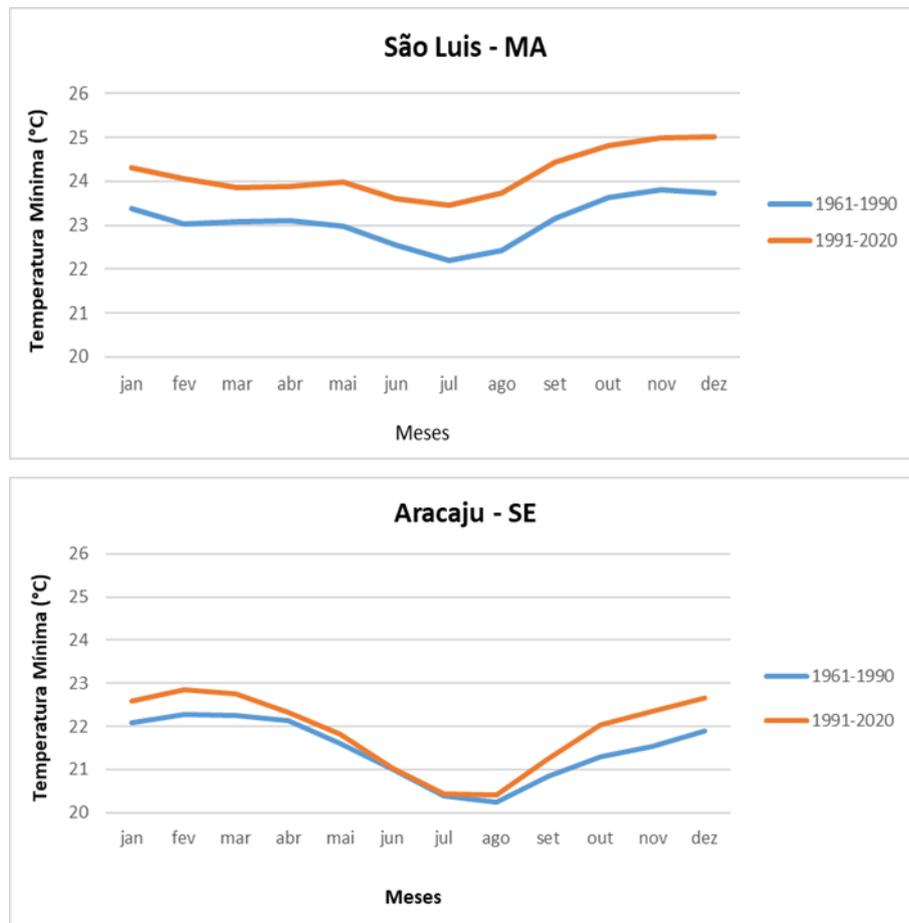
A Figura 15 ilustra a evolução da temperatura mínima na RNB durante os períodos de 1961-1990 (em azul) e 1991-2020 (em vermelho). A análise revela que, na maioria das capitais estudadas, a temperatura mínima (TN) demonstra uma tendência de aumento ao longo dos anos.

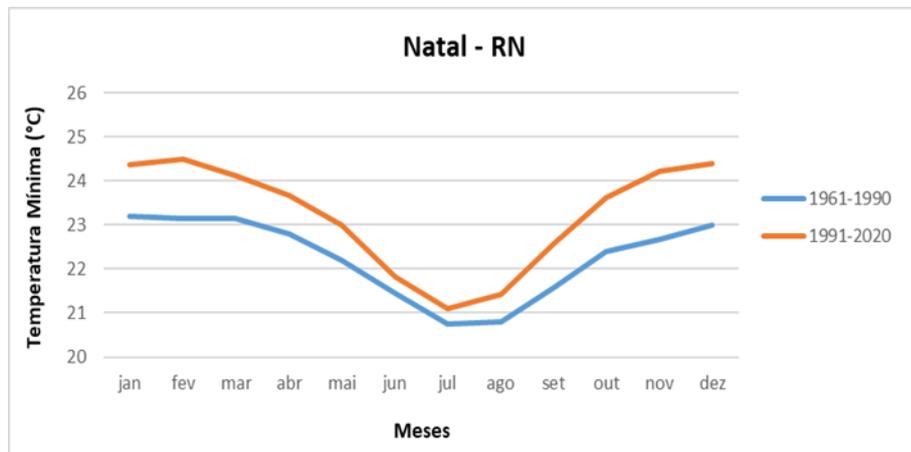
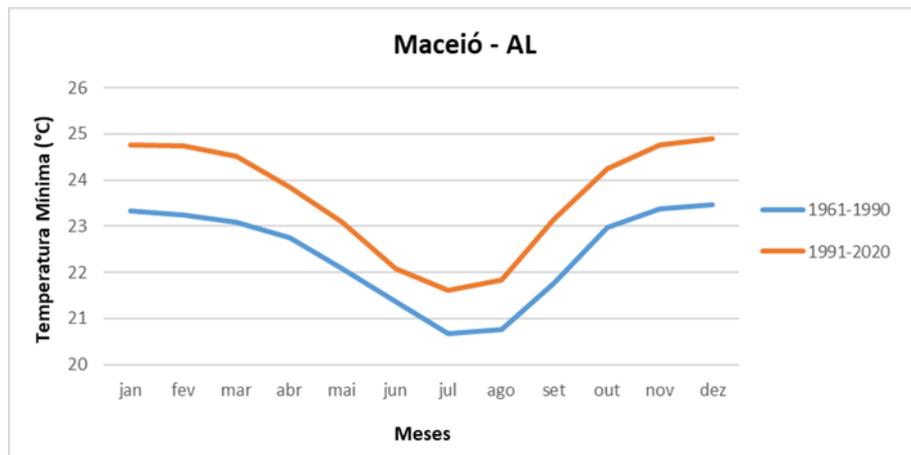
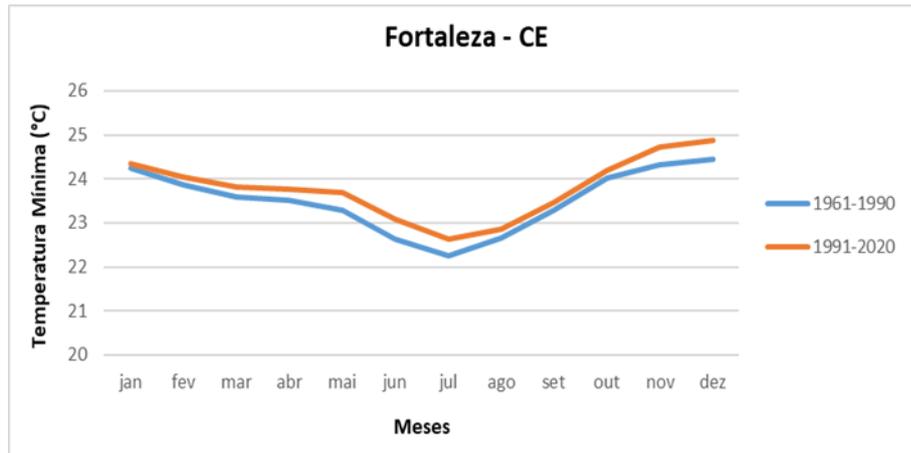
No entanto, no caso de Salvador (BA), observa-se que a temperatura mínima registrou valores inferiores nos meses de janeiro e de junho a dezembro durante o período de 1991-2020, em comparação com o período de 1961-1990. Nos demais meses, Salvador (BA)

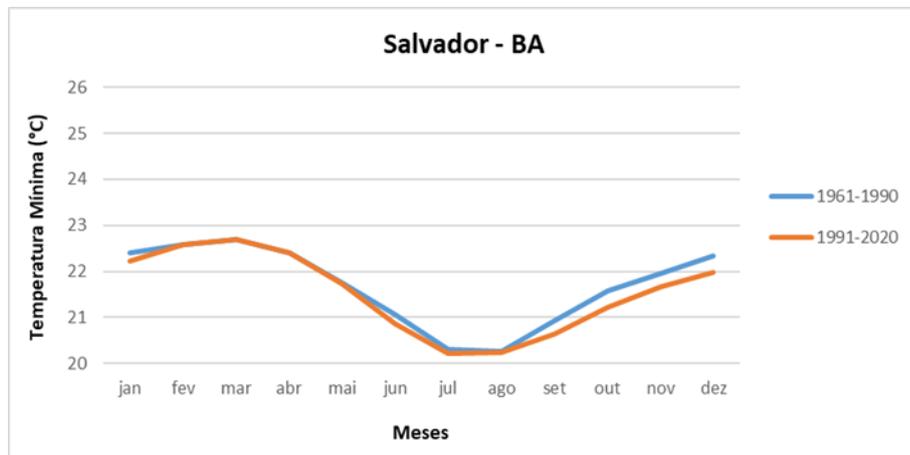
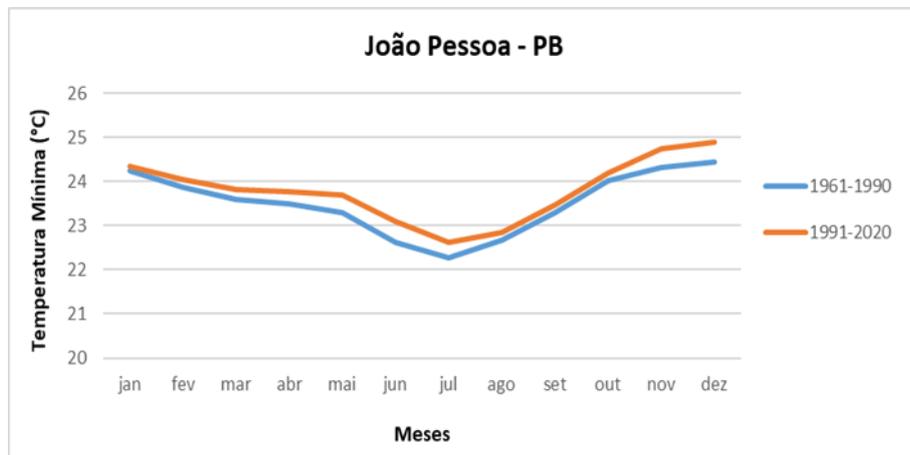
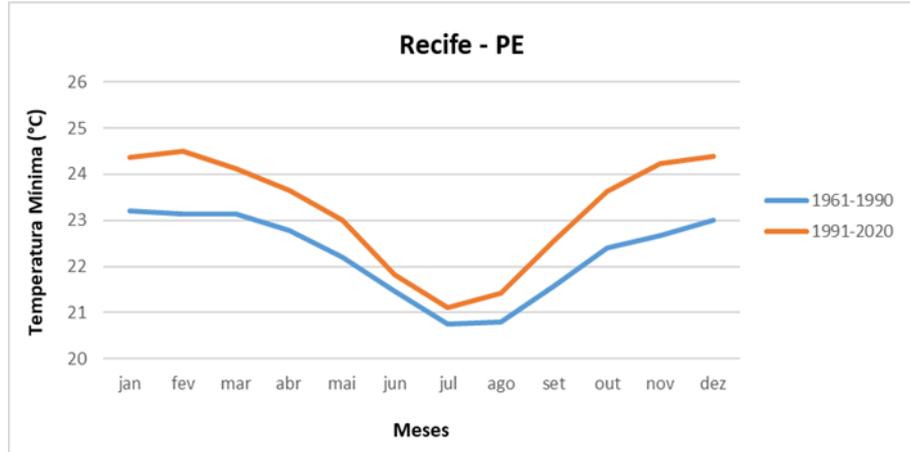
segue o padrão das demais capitais, registrando um aumento na temperatura mínima ao longo do tempo. Essa alteração pode ter relação com a modificação da vegetação, no entorno da estação meteorológica que coleta os dados.

Durante os meses de maio a agosto, é observado um padrão generalizado de redução da temperatura mínima em todas as capitais. Nota-se que, na capital São Luís (MA), essa diminuição é mais moderada em comparação com as demais cidades da RNB, (figura 15).

Figura 15: Variação de temperatura mínima anual das capitais do RNB, de 1961 a 1990 (em azul) e 1991 a 2020 (em Vermelho).







#### 4.1. Índice de calor (IC)

Neste tópico, apresentam-se os resultados do Índice de Calor (IC) referentes à temperatura máxima para as capitais em análise, conforme representado na Figura 16. Durante o período de análise nenhuma das capitais apresentou IC menores que 27°C, que representa ausência de alerta, onde deve -se levar em consideração que foram trabalhados dados de TX para o IC de uma região próxima ao equador.

Capitais localizadas mais ao norte da RNB, como São Luís (MA) e Fortaleza (CE), exibiram consistentemente valores de IC superiores a 38°C ao longo de todo o período de referência. Destaca-se a ocorrência de picos distintivos nas curvas, onde o IC atingiu o máximo de 54°C em São Luís, 56°C em Fortaleza e 51°C em Natal em períodos diferentes, indicando níveis de perigo/extremo perigo para a população local dessas cidades. As demais capitais apresentaram valores máximos de IC ao longo da série inferiores a 50°C (Figura 16).

A capital São Luís (MA) experimentou uma expansão urbana tardia e acelerada, principalmente nas décadas de 1960 e 1970 (De Jesus Correa et al., 2013). Esse processo de crescimento urbano disperso pode estar associado aos valores mais elevados do IC observados nesse mesmo período, que foram de quase 54°C no ano de 1964 na capital do Maranhão (Figura 16), o valor mais elevado durante o período referência para a cidade de São Luís. Esse resultado representa um perigo extremo à saúde humana, com risco de insolação e Acidente Vascular Cerebral (AVC) iminente na população local mais vulnerável.

Quanto a Fortaleza (CE), destaca-se que ao longo de todo o período de análise, a cidade manteve consistentemente valores de Índice de Calor (IC) superiores a 44°C, (Figura 16). Esses dados indicam uma ameaça significativa à saúde da população local, com potencial desenvolvimento de sintomas como câimbras, insolação e exaustão. Em situações de exposição prolongada e atividade física intensa, há a possibilidade de ocorrer Acidente Vascular Cerebral (AVC).

Entre 1991 e 1993, Fortaleza (CE), registrou índices de Índice de Calor (IC) notáveis, atingindo 56°C, (Figura 16). Em 1990, teve início a fase intensa do fenômeno El Niño (1990/93), ocasionando uma diminuição na precipitação anual para 974 mm, com variação mínima de 945,1 mm, representando o valor mais baixo durante o período deste estudo (1974 a 1998) para Fortaleza (CE). Esses baixos índices pluviométricos na região podem ter contribuído para os elevados valores do IC na cidade nesse período.

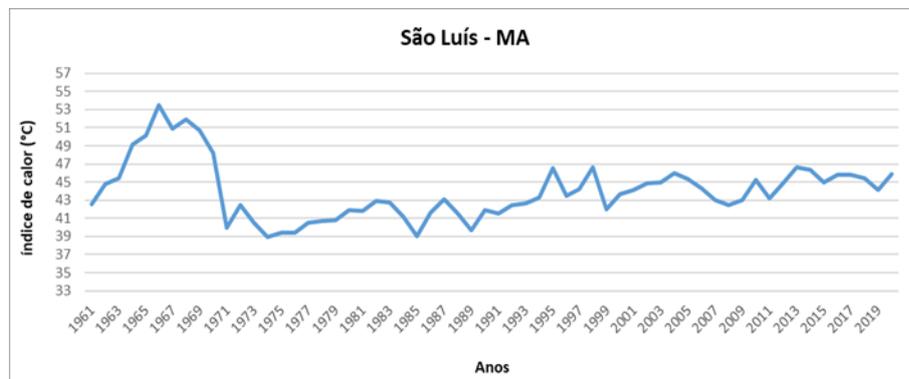
Os anos que registraram os maiores índices de precipitação na RNB, pode -se citar: 1964, 1967, 1974, 1985/86, 1988/89, 1994, 2004 e 2009 (Marengo et al., 2012). No período

entre 1985 e 1986, observou-se um declínio significativo no Índice de Calor (IC) nas capitais de João Pessoa, Recife, Maceió e Aracaju, provavelmente devido as chuvas intensas sobre essas cidades, que podem ter influenciado nesse resultado.

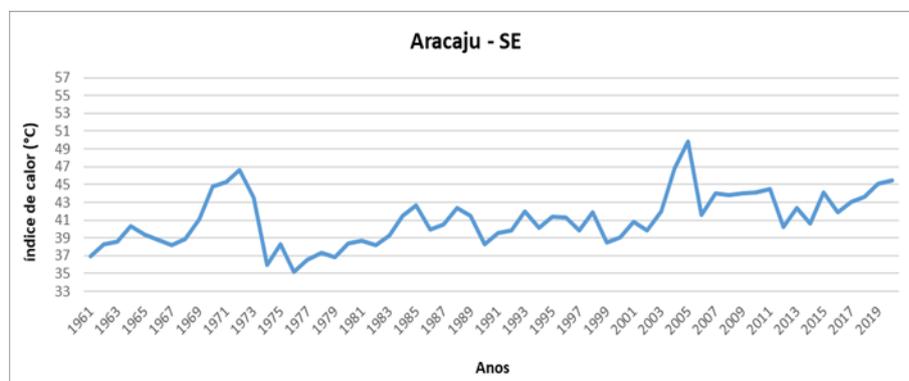
Destaca-se que no ano de 1974, a capital cearense registrou um pico com valores de IC inferiores a  $44^{\circ}\text{C}$ , o menor valor de IC da TX registrado em todo período referência para a cidade (Figura 16), o que pode estar diretamente relacionado aos índices de chuvas intensas na região, influenciados diretamente pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que apresentou em 1974 inclinação máxima, sobre o Nordeste, no mês de abril. Levando em consideração que a ZCIT é o principal sistema causador de chuvas no setor norte do Nordeste. Sabe-se que este mês (abril) pode definir a qualidade de determinado ano em ser seco, normal ou chuvoso (Melo, et al., 1999).

Os menores resultados na RNB do IC na TX ao longo do período referência, foram as cidades de Maceió, Joao Pessoa e Recife, onde a capital alagoana apresentou os melhores resultados, variando no valor do IC de  $34^{\circ}\text{C}$  a  $42^{\circ}\text{C}$  (Figura 16).

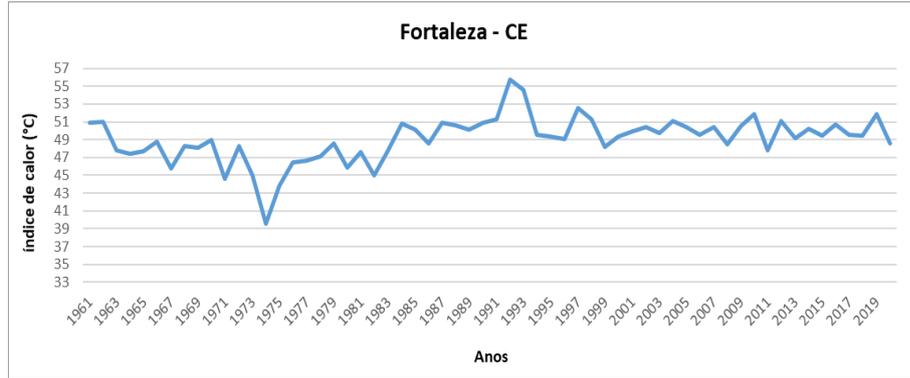
Figura 16: IC da temperatura máxima (TX), nas capitais do RNB, no período de 1961 – 2020.



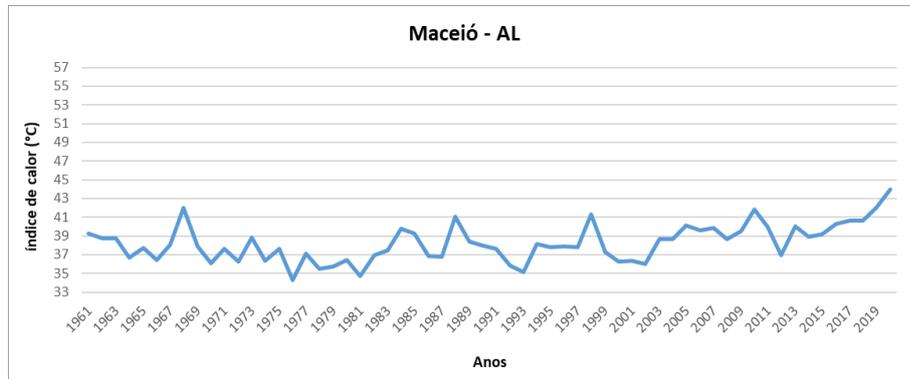
(a)



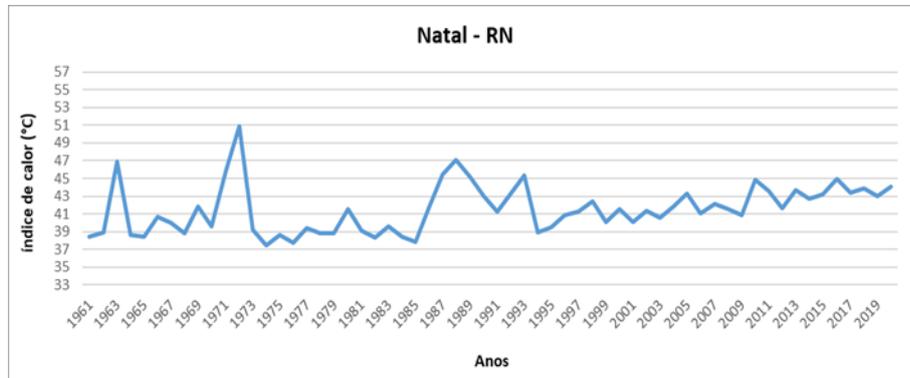
(b)



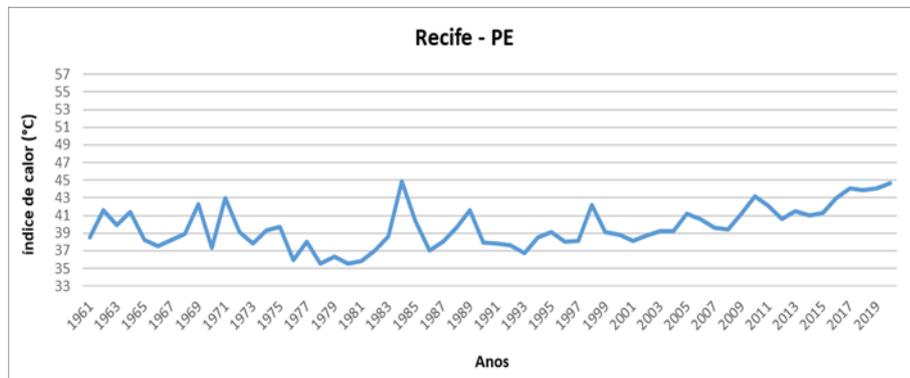
(c)



(d)



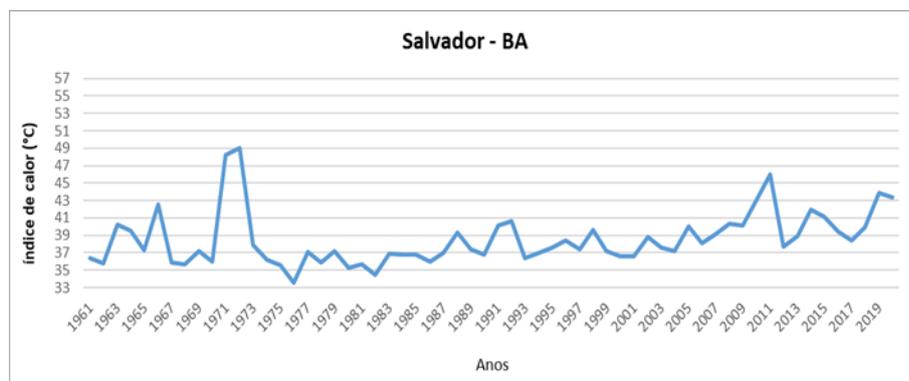
(e)



(f)



(g)



(h)

## 4.2. Índice de desconforto humano (IDK)

Neste tópico, apresentam-se os resultados do Índice de Desconforto Humano (IDK) para as cidades em estudo. Segundo o INPE 2023, na região nordeste as temperaturas são mais homogêneas, com a mínima variando em torno de 22°C, e a máxima variando entre 30°C e 32°C. Dessa forma, em todas as capitais, não foram identificados casos de estresse e desconforto devido ao frio.

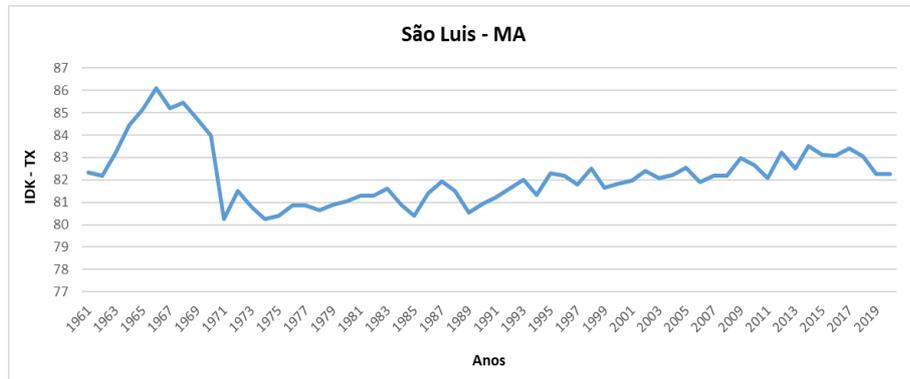
Conforme destacado por Da Silva et al., (2019), o estado de Sergipe enfrenta uma prolongada estiagem desde 2010, considerada a mais intensa das últimas décadas. Os índices RClíndex também apontam para um aumento nas temperaturas máximas e mínimas, além de uma redução nos dias e noites frias em Aracaju. Ao analisar o Índice de Desconforto Humano (IDK), tanto para a temperatura máxima (Figura 17) quanto para a temperatura mínima (Figura 18) na capital sergipana, observa-se uma tendência de crescimento nos valores, especialmente nas últimas décadas. Essa tendência não é exclusiva de Aracaju, mas abrange todas as demais capitais estudadas, especialmente aquelas localizadas a leste da RNB, onde é perceptível esse aumento progressivo nos valores do IDK na TX.

Apesar de 1971 ter sido caracterizado por um quadrimestre AMJJ extremamente chuvoso em Salvador, o ano subsequente (1972-73) testemunhou um dos quadrimestres DJFM mais áridos na capital baiana. É relevante observar que esse período coincidiu com um evento moderado de El Niño, resultando em condições mais secas na RNB (Melo, et al., 1999), podendo explicar o pico máximo do Índice de Desconforto Térmico (IDK) na TX, que ultrapassou o valor 85 em Salvador (BA).

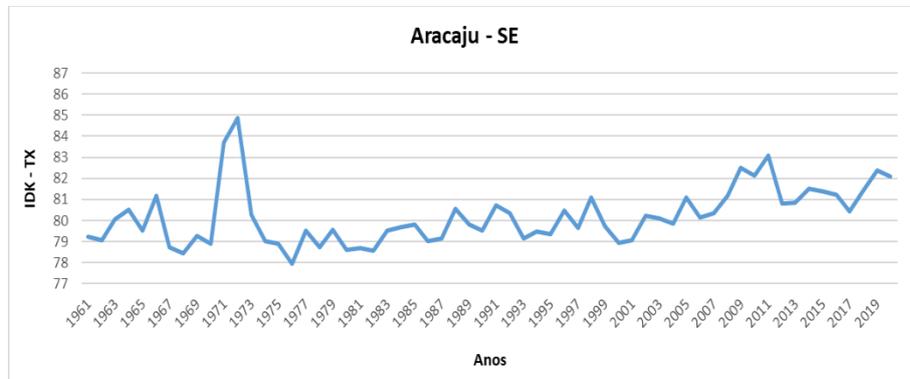
Essa alteração negativa no regime de precipitação nos anos de 1972-73 pode explicar o pico do Índice de Desconforto Humano (IDK) também observados nas capitais Aracaju (SE) e Fortaleza (CE) próximos a 85, seguidos por Maceió (AL) com IDK superior a 83, Natal (RN) com 82 e São Luís (MA) com 81, indicando um estresse térmico significativo (Figura 18). Posteriormente, houve uma diminuição nos valores do IDK no ano de 1974, coincidindo com um período que registrou um dos maiores índices de precipitação na RNB.

Todas as capitais da RNB, apresentaram durante o período de referência, valores de IDK na TX, maiores que 77, isso significa que, para essas cidades as condições de conforto térmico na TX, variam de desconforto pelo calor a estresse pelo calor para a população dessas cidades.

Figura 17: Índice de Desconforto de Kawamura (IDK) na temperatura máxima, no período de 1961 a 2020.



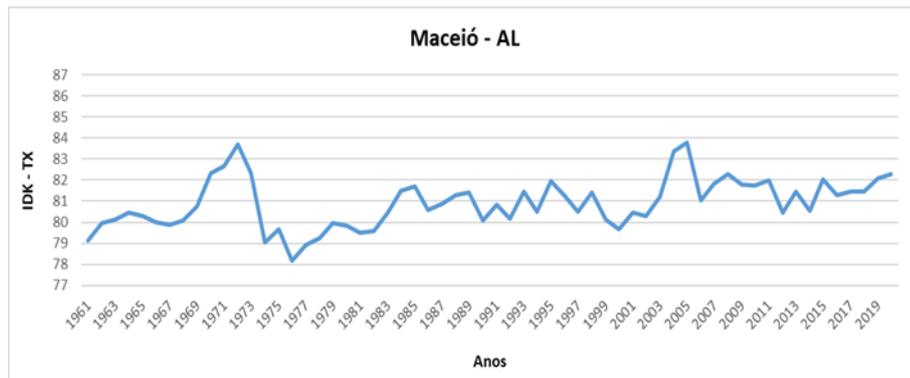
(a)

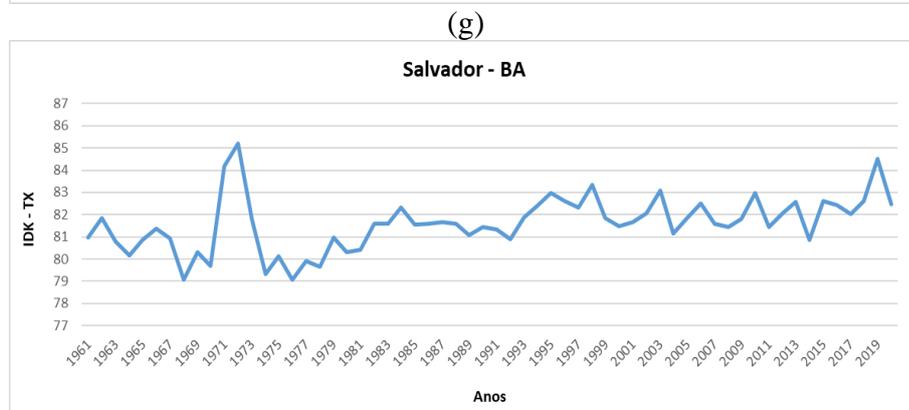
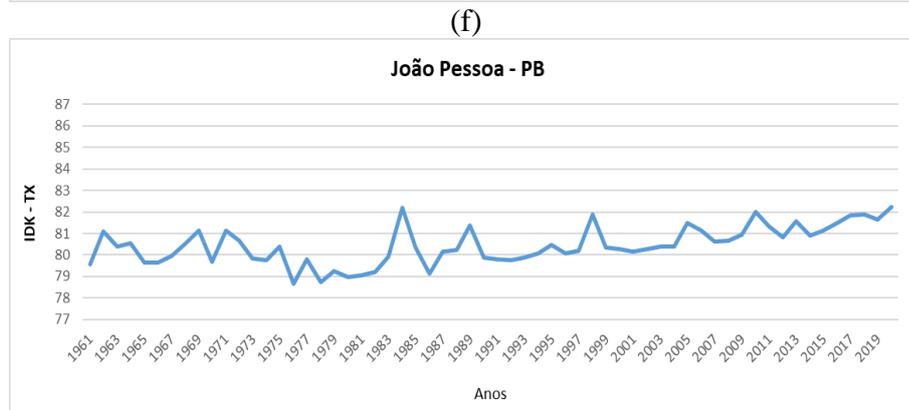
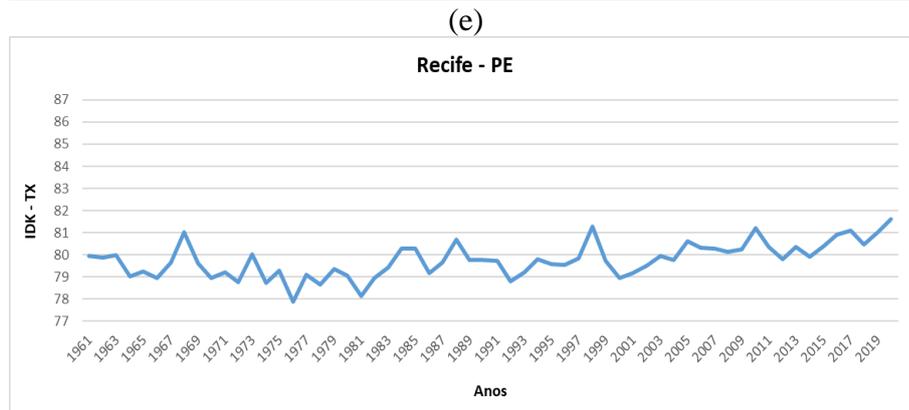
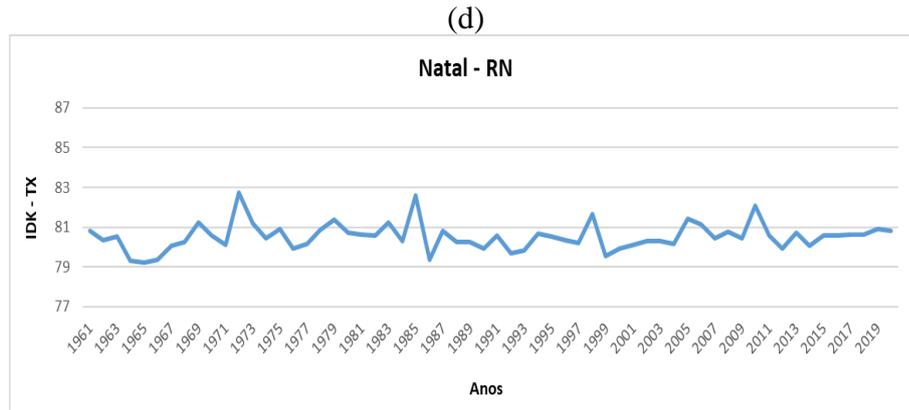


(b)



(c)





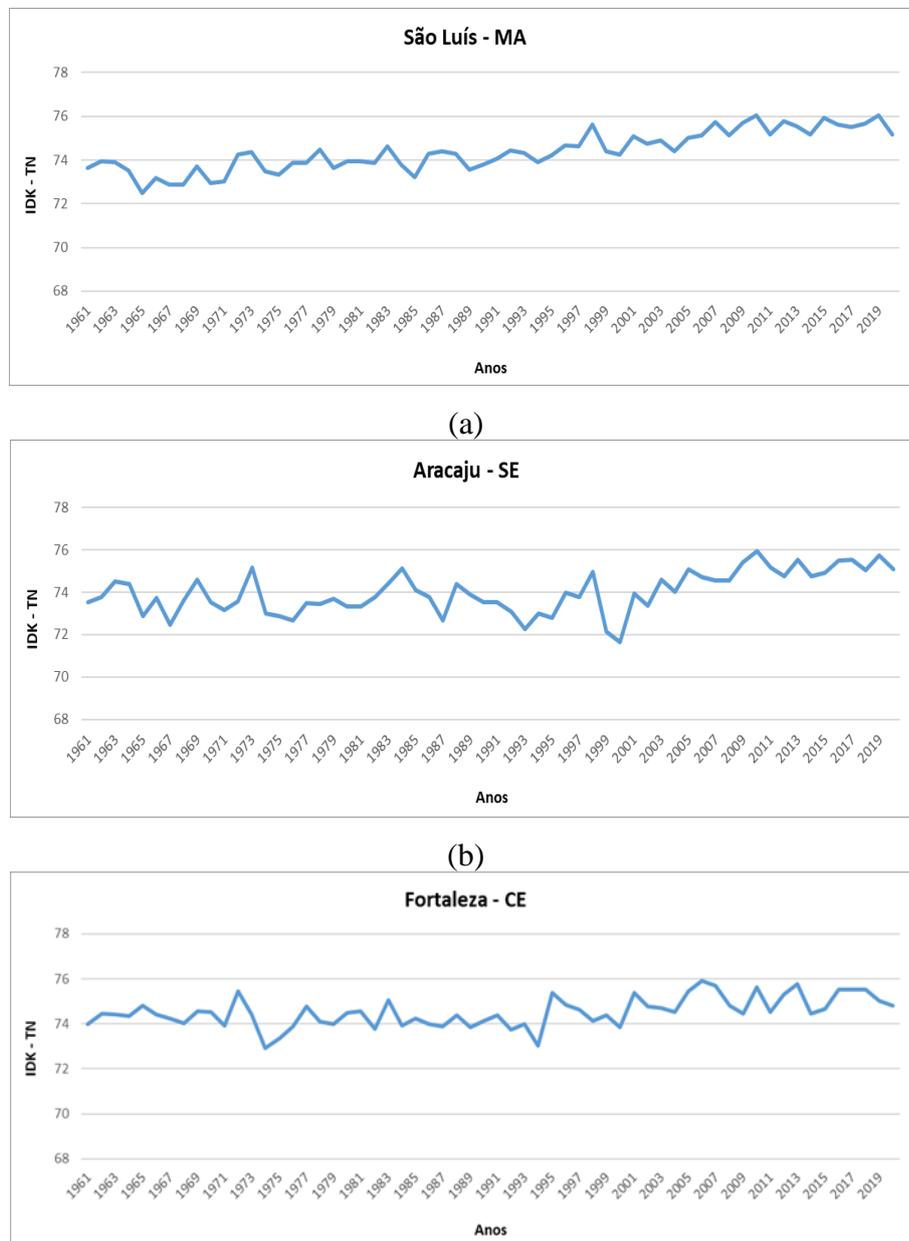
(h)

Quanto ao IDK da TN, o valor mais baixo registrado durante o período de análise foi observado em Maceió (AL), no ano de 2001-02, atingindo 69, indicando uma sensação

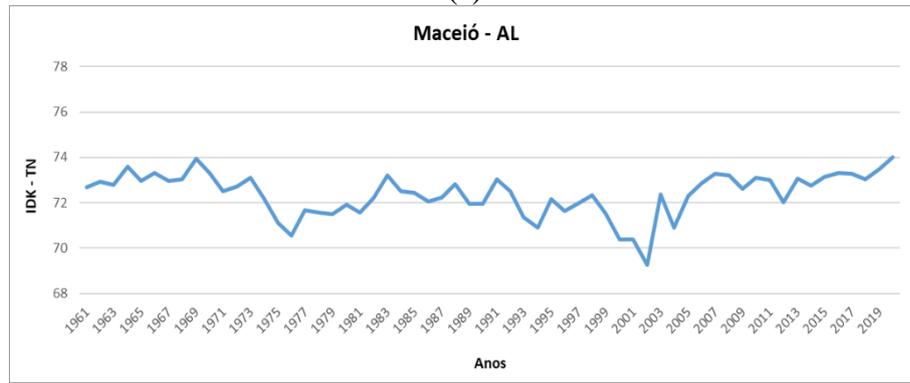
térmica confortável. Esse declínio no IDK em Maceió (AL) teve início em 1998, ano marcado pelo final da ocorrência do El Niño mais intenso já registrado (1997-98), seguido por um evento La Niña (1998-01) de longa duração. Ou seja, os anos de 1998-01 o regime de precipitação foi alterado de forma positiva na RNB, fator esse que pode ter influência direta com o menor valor de IDK do período de referência. Esse padrão de comportamento também é perceptível de maneira mais evidente nas cidades de Natal e Aracaju para o mesmo período.

Os resultados apontam para tendência de aumento do IDK da TN, perceptível em quase todas as capitais da RNB, principalmente nas capitais mais ao Norte da RNB.

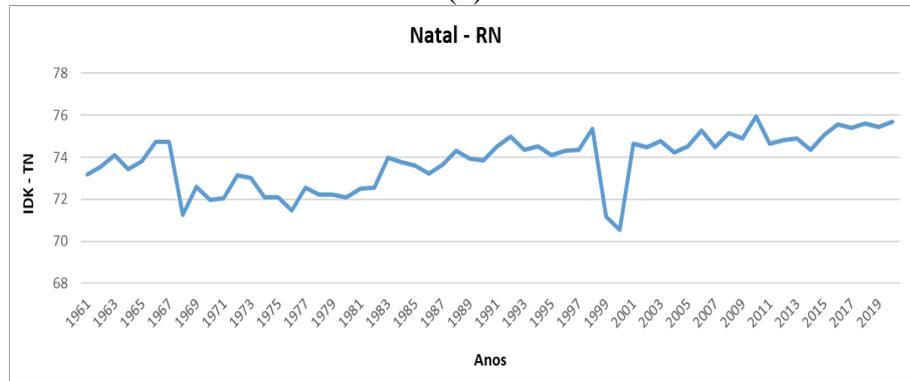
Figura 18: Índice de Desconforto de Kawamura (IDK) na temperatura mínima, no período de 1961 a 2020.



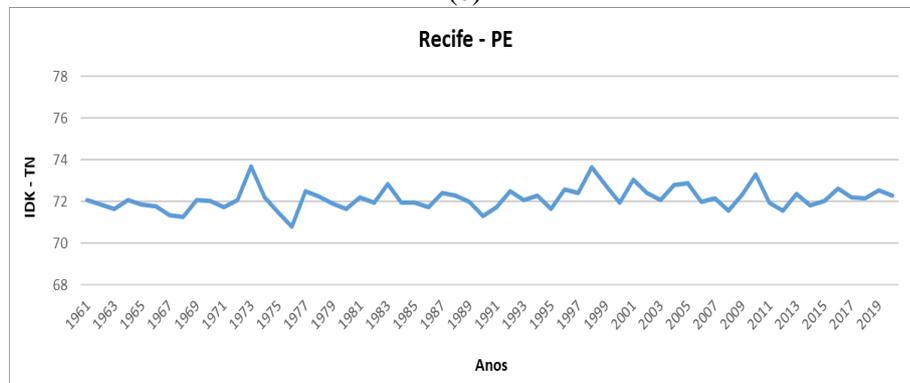
(c)



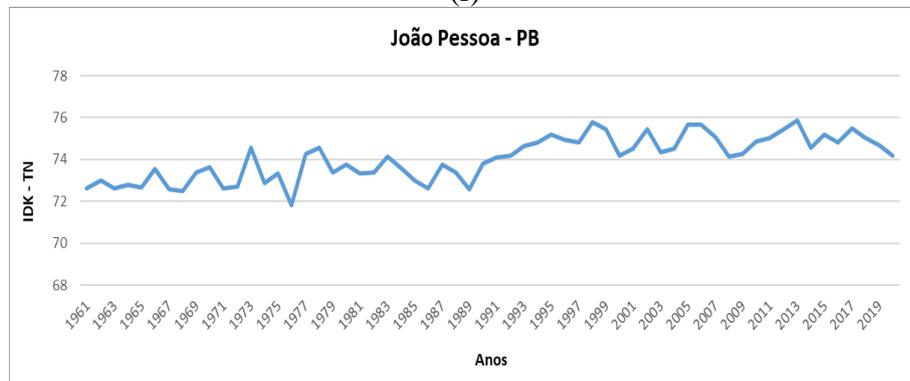
(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos índices de Calor (IC) e Desconforto Térmico Humano (IDK) para o período de 1961 a 2020 revelou informações cruciais sobre as condições térmicas nas capitais estudadas ao longo da costa do oceano Atlântico na RNB. A variação nas temperaturas máximas e mínimas ao longo do tempo, associada a fatores meteorológicos como umidade relativa do ar, desempenha um papel fundamental no conforto térmico da população.

A análise das temperaturas máximas evidenciou um aumento geral ao longo dos anos na maioria das capitais, destacando-se São Luís (MA) e João Pessoa (PB) com valores mais elevados no período de 1961-1990. As capitais ao norte apresentaram picos de temperatura máxima entre setembro e novembro, enquanto as capitais a leste tiveram seus picos entre dezembro e fevereiro. Esse padrão está diretamente relacionado ao ciclo de chuvas na região.

Quanto às temperaturas mínimas, a análise revelou uma tendência de aumento na maioria das capitais, exceto em Salvador (BA), onde ocorreram reduções pontuais. Esse comportamento pode estar associado a modificações na vegetação nas proximidades das estações meteorológicas.

O acelerado crescimento urbano, da cidade de São Luís, capital do estado do Maranhão, tem afetado diretamente as trocas de energia que determinam o seu clima. As construções de edifícios cada vez mais altos, principalmente ao longo da costa da cidade, tem interferido na circulação dos ventos, e a temperatura do centro da cidade tem apresentado valores maiores do que as da região costeira. Consequentemente, os resultados dos índices de conforto térmico, mostraram os piores resultados na região do centro da cidade, e os melhores resultados na região próximo a orla. Por se tratar de uma cidade litorânea, a variável meteorologia vento desempenha um papel fundamental na dinâmica climática de São Luís do Maranhão (Pinheiro et al. 2018).

Os índices de Calor indicaram valores extremos em algumas capitais, com São Luís, Fortaleza e Natal enfrentando situações de perigo/extremo perigo para a população. A urbanização acelerada em São Luís na década de 1960 pode ter contribuído para os altos índices de Calor registrados. Fortaleza manteve consistentemente valores elevados ao longo do período, com picos notáveis durante o fenômeno El Niño em 1991-1993.

O Índice de Desconforto Térmico Humano (IDK) revelou uma tendência de crescimento nos valores, especialmente nas últimas décadas, afetando todas as capitais estudadas. As condições de conforto térmico na temperatura máxima variaram de desconforto

pelo calor a estresse pelo calor para a população dessas cidades. Salvador, em 1972-73, experimentou um pico significativo no IDK devido a condições áridas associadas ao El Niño.

Em síntese, esses resultados indicam uma mudança nas condições térmicas ao longo do tempo, com impactos potenciais na saúde da população. O aumento nas temperaturas e nos índices de desconforto térmico destaca a necessidade de estratégias de adaptação e mitigação para proteger a saúde pública diante das mudanças climáticas na Região Nordeste do Brasil. Essas estratégias devem considerar não apenas as condições climáticas, mas também o crescimento urbano e outros fatores locais que contribuem para os extremos térmicos.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, L. V. Avaliação da escala de influência da vegetação no microclima por diferentes espécies arbóreas. Campinas, SP. 2008.
- ALCÂNTARA, Laura Ferreira de. A tributação do IPTU verde como incentivo ao desenvolvimento sustentável em João pessoa/PB. 2020.
- AZEVEDO, P. V. de et al. Characterization of human thermal comfort in urban areas of Brazilian semiarid. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, p. 371-380, 2015.
- BARBOSA, R. V. R. Áreas verdes e qualidade térmica em ambientes urbanos: estudos em microclimas de Macéio (AL). 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- BARBOZA, E. N.; NETO, F. C. B.; CAIANA, C. R. A. Geoprocessamento aplicado na análise dos efeitos da urbanização no campo térmico em Fortaleza, Ceará. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e57973731-e57973731, 2020.
- BATISTA, B. A. et al. Avaliação da expansão urbana na Cidade de Maceió, Alagoas–Nordeste do Brasil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p.e253101119537-e253101119537, 2021.
- BENDER, A.; FREITAS, E. D.; MACHADO, L. A. T. The impact of future urban scenarios on a severe weather case in the metropolitan area of São Paulo. **Climatic Change**, v. 156, n. 4, 2019.
- BURIOL, G. et al. A et al. Influência dos elementos meteorológicos no conforto térmico humano: bases biofísicas. Anais do VI Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica. Aracaju/SE, 2004.
- CORREIA FILHO, W. L. F. et al. Impact of urban decadal advance on land use and land cover and surface temperature in the city of Maceió, Brazil. **Land use policy**, v. 87, p. 104026, 2019.
- COSTA, R. L.; DE MELLO BAPTISTA, G. M.; SILVA, F.D. S. Cenários futuros de mudanças climáticas aplicados ao índice de conforto térmico para o nordeste do Brasil. 2017.
- COUTINHO, M. D. L. et al. O microclima e o (des) conforto térmico em ambientes abertos na cidade de Natal. **Hygeia: Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 10, n. 19, p. 65, 2014.
- COUTINHO, M.D.L. et al. O microclima e o (des) conforto térmico em ambientes abertos na cidade de Natal. **Hygeia: Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 10, n. 19, p. 65, 2014.
- DA SILVA, P. E. et al. Análise de índices de extremos climáticos no Nordeste e Amazônia Brasileira para o período entre 1980 a 2013. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 2, p. 137-148, 2019.
- DA SILVA, P. E. et al. Análise de Índices de Extremos Climáticos no Nordeste e Amazônia Brasileira para o Período entre 1980 a 2013. **Anuário do Instituto**

de Geociências, v. 42, n. 2, p. 137-148, 2019.

DA SILVA, V. P. R. On climate variability in Northeast of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 58, p. 575-596, 2004.

DE BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. Zoneamento climático urbano da cidade do Recife: uma contribuição ao planejamento urbano. *GEOUSP Espaço e Tempo (Online)*, v. 17, n. 1, p. 186-197, 2013.

DE JESUS CORREA, M. Análise geoespacial da cidade operária: a dinâmica de ocupação como um dos eixos de expansão urbana do município de São Luís/MA. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 2, n. 2, p. 69-79, 2013.

DE LIMA NETO, E. M. et al. Análise das áreas verdes das praças do bairro centro e principais avenidas da cidade de Aracaju-se. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 2, n. 1, p. 17-33, 2007.

DE OLIVEIRA MOURA, M. O clima urbano de fortaleza sob o nível do campo térmico. **Mercator-Revista de Geografia da UFC**, v. 7, n. 13, p.156, 2008.

DINIZ, D.N. L.; LEFÈVRE, J. E. A. Aracaju: a construção da imagem da cidade. 2009.

FARIAS, A. R. et al. Identificação, mapeamento e quantificação das áreas urbanas do Brasil. 2017.

FERREIRA, A. G. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista brasileira de climatologia**, v. 1, 2005.

FREITAS, R. M. de. Entre mitos e limites: as possibilidades do adensamento construtivo face à qualidade de vida no ambiente urbano. 2005.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. Manual de conforto térmico. São Paulo: Studio Nobel,2001.

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 15 nov. 2023. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/35585-sudeste-concentra-mais-de-um-terco-das-areas-urbanizadas-do-pais>

IPMA Instituto Português do Mar e da Atmosfera. 10 nov. 2023 Disponível em: <https://www.ipma.pt/pt/enciclopedia/otempo/previsao.numerica/index.html?page=aladin.brisa.mar.xml>

LAPOLA, D. M., Braga, D. R., Di Giulio, G. M., Torres, R. R., & Vasconcellos, M. P.(2019). Heat stress vulnerability and risk at the (super) local scale in six Brazilian capitals. **Climatic Change**, 154(3), 477-492.

MARENGO. J. A. Mudanças Climáticas e eventos extremos no Brasil. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento sustentável. Brasília: MMA, 2012. Disponível em: [http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS\\_MudancasClimaticas.pdf](http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas.pdf).

MELO, J. C. de. (1999). O fenômeno el niño e as secas no Nordeste do Brasil. Raízes: **Revista De Ciências Sociais E Econômicas**, (20), 13–21.

MENDONÇA, H. S. et al. Ciclo Diurno do Conforto Térmico Humano em Maceió-AL. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 847-860, 2021

MILANO, M. S.; DALCIN, E. C. Arborização de vias públicas. Rio de Janeiro, RJ: Light, 2000. 131p.

MOORE, M.; GOULD, P.; KEARY, B. S. Global urbanization and impact on health. *International journal of hygiene and environmental health*, v. 206, n. 4-5, p. 269-278, 2003.

MOREIRA, E. B. M. Variação espacial e multitemporal das temperaturas da superfície na cidade do Recife. 2009. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

NEDEL, A. S. et al. Análise comparativa de dois índices de conforto térmico humano no estado de Pernambuco. *Anais*, 2005.

NÓBREGA, R. S.; FARIAS, R. F. L.; SANTOS, C. A. C. Variabilidade temporal e espacial da precipitação pluviométrica em Pernambuco através de índices de extremos climáticos. **Revista brasileira de meteorologia**, v. 30, p. 171-180, 2015.

NÓBREGA, R. S.; SANTOS, P.F.C.; MOREIRA, E. B. M. Morfologia urbana e ilhas de calor na cidade do Recife/PE: distribuição espacial e intensidade. **Revista de Geografia** (Recife), v. 33, n. 4, 2016.

OLIVEIRA, P. D.; DE ARAÚJO MEDEIROS, W. D. Os serviços ecossistêmicos de provisão promovidos pelo parque municipal professor maurício de oliveira, mossoró/rn. **Revista GeoInterações**, v. 7, n. 1, 2023.

ONO, H. S. P.; KAWAMURA T. Sensible climates in monsoon Asia. **International Journal of Biometeorology**, v.35, n.20, p.39-47,1991.

PINHEIRO, J. M. Clima urbano da cidade de São Luís do Maranhão. 2018. 244 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

SAMPAIO, A. H. L. Correlações entre o uso do solo e ilha de calor no ambiente urbano: o caso de Salvador/BA. (Dissertação de Mestrado). São Paulo: Programa de Pós Graduação em Geografia Física- FFLCH/USP, 1981.

SANTANA, A.M.S. O desenho urbano e a climatologia em Fortaleza. (Dissertação de Mestrado). São Paulo: FFLCH/USP- Programa de Pós Graduação em Geografia, 1997.168p.

SANTOS, G. D. SANTOS, J. S. Estudo Microclimático em Pontos Representativos da Malha Urbana da Cidade de João Pessoa\PB: uma avaliação do campo térmico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 06, p. 1430-1448, 2013.

SHARMS, J. C. A.; GIACOMELI, D. C.; SUCOMINE, N. M. Emprego da arborização na melhoria do conforto térmico nos espaços livres públicos. **REVSBAU**, Piracicaba – SP, v.4, n.4, p.1-16, 2009.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Análise do método de simulação de desempenho térmico da norma NBR 15.575. Paranoá, n. 12, 2014.

STEADMAN, R. G. The assessment of sultriness. Part I: a temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. **Journal of Applied Meteorology**, 18: 861–873, 1979a.

STEADMAN, R.G. The assessment of sultriness. Part II: effects of wind, extra radiation and barometric pressure on apparent temperature. **Journal of Applied Meteorology**, v. 18,p. 874–885, 1979b.

TABARELLI, Marcelo; MELO, M. D. V. C.; LIRA, O. C. A Mata Atlântica do nordeste. Rio de Janeiro: MMA, 2006.

TORRES, S. C. et al. Arranjos construtivos urbanos: um estudo sobre a influência da configuração de conjuntos habitacionais verticais na qualidade térmica de edificações em Maceió-al. 2006.

Varejão-Silva, M. A, 2001. **Meteorologia e Climatologia**. PAX Gráfica e Editora Ltda, 2ª Edição, 532 págs.

ZHAO, Qi et al. Spatiotemporal and demographic variation in the association between temperature variability and hospitalizations in Brazil during 2000–2015: a nationwide time-series study. **Environment international**, v. 120, p. 345-353, 2018.